

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 8 ottobre 2020, n. 1671

Preso d'atto dello studio "Analisi delle variabili che influenzano la produzione pro capite, la raccolta differenziata e i costi di gestione degli RSU in Puglia: un'esperienza di deep learning" realizzato anche in ossequio all'art.12 del Regolamento di Organizzazione e Funzionamento dell'ORR L.R. 36/2009 (DGR n°518/2010).

L'Assessore alla Qualità dell'Ambiente Giovanni Francesco Stea sulla base delle risultanze dell'istruttoria espletata dai funzionari addetti della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche, confermata dal Dirigente della Sezione Ciclo dei rifiuti e bonifiche Ing. Giovanni Scannicchio, oltre che dal Direttore del Dipartimento Mobilità, Qualità Urbana, Opere Pubbliche, Ecologia e Paesaggio, Ing. Barbara Valenzano, riferiscono quanto segue.

Nel 7° Programma d'azione europeo per l'ambiente, "Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta", l'UE formula una visione per il 2050: una società a basse emissioni di carbonio, un'economia verde e circolare ed ecosistemi resilienti alla base del benessere dei cittadini. Per raggiungere tali obiettivi però numerose sono le sfide da affrontare legate a sistemi di produzione e consumo insostenibili e ai loro impatti nel lungo termine, spesso complessi e cumulativi, sugli ecosistemi e sulla salute delle persone. In particolare preoccupano gli impatti ambientali derivanti dalla nostra economia lineare, basata sul principio "compra-usa-getta", per la nostra non sostenibile dipendenza da molte risorse naturali, per l'impronta ecologica che supera la capacità di assimilazione del pianeta. Al fine di rendere "circolare" le economie risulta fondamentale impostare un sistema di gestione dei rifiuti urbani (da ora RSU) che possa tendere da un lato alla riduzione della produzione degli stessi e dall'altro ad incrementare il più possibile, il riuso e/o il riciclaggio. Il trattamento ed il trasporto degli RSU deve essere improntato, inoltre a ridurre al minimo gli impatti su tutte le matrici ambientali.

La direttiva quadro sui rifiuti 2008/98/CE prevedeva all'art. 11, paragrafo 2, lettera a) che, entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio di rifiuti quali, come minimo, carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici, e possibilmente di altra origine, nella misura in cui tali flussi di rifiuti sono simili a quelli domestici, siano aumentati complessivamente almeno al 50% in termini di peso. Di conseguenza, per promuovere il riciclaggio di «alta qualità» (direttiva 2008/98/CE, art. 11, paragrafo 1) gli Stati membri «istituiscono la raccolta differenziata dei rifiuti, ove essa sia fattibile sul piano tecnico, ambientale ed economico e al fine di soddisfare i necessari criteri qualitativi per i settori di riciclaggio pertinenti». La direttiva 2008/98/CE, pur non prevedendo target di raccolta differenziata, richiede, dunque, che si proceda all'attivazione della stessa e che siano conseguiti obiettivi di preparazione per il riutilizzo e riciclaggio almeno per le quattro frazioni carta, metalli, plastica e vetro. Tale direttiva è stata recepita in Italia con il decreto legislativo 3 dicembre 2010 n. 205, di modifica del decreto legislativo n. 152/2006, che rafforza le indicazioni della direttiva in merito alla raccolta differenziata, stabilendo che la raccolta differenziata deve riguardare almeno le seguenti frazioni: a. carta; b. metalli; c. plastica; d. vetro; e. ove possibile il legno.

Con il decreto 8 aprile 2008 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare sono stati disciplinati i centri di raccolta dei rifiuti urbani raccolti in modo differenziato elencando le tipologie di rifiuti che possono essere ivi conferiti. Si applicano le definizioni di cui agli articoli 183 e 218 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, nonché i criteri di classificazione dei rifiuti urbani di cui all'art. 184, comma 2 e, ai fini dell'attuazione della raccolta differenziata dei rifiuti organici, i criteri dell'art. 182 -ter del medesimo decreto. **Con** legge 28 dicembre 2015, n. 221, recante "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali", è stato modificato l'art. 205 del D.Lgs. n. 152/2006- T.U. Ambiente, prevedendo nuove misure per incrementare le percentuali di raccolta differenziata ed il riciclaggio dei rifiuti.

Con decreto 26 maggio 2016 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare sono state introdotte le linee guida per il calcolo della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani, dando facoltà alle Regioni, di conteggiare nella quota di raccolta differenziata, i rifiuti avviati a compostaggio domestico, di prossimità e di comunità che, secondo quanto indicato dalla decisione 2011/753/EU recante "Regole e

modalità di calcolo per il rispetto degli obiettivi di riciclaggio e recupero dei rifiuti”, rientra tra le operazioni di riciclaggio dei rifiuti.

La Regione Puglia, con D.G.R. 1548 del 11/10/2016, ha prontamente recepito le linee guida per il calcolo della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani e assimilati, predisposte dalla struttura tecnica dell’Osservatorio Regionale Rifiuti della Puglia (ORR), istituito con legge regionale 31 dicembre 2009, n. 36 art.10..

Considerato che

L’ORR così come definito dal proprio Regolamento di Organizzazione e funzionamento (DGR n.518 del 23/02/2010) è incardinato presso l’Assessorato alla Qualità dell’Ambiente della Regione Puglia, alle dirette dipendenze funzionali della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche (art.1). Esso supporta la Regione Puglia nell’attuazione di politiche ambientali avanzate in materia di gestione dei rifiuti in territorio regionale. In quest’ottica, raccoglie i dati relativi alla produzione, raccolta, raccolta differenziata, recupero e smaltimento dei rifiuti urbani e speciali, pericolosi e non pericolosi in atto nel territorio regionale mediante la costituzione e la gestione di una banca dati, approfondisce l’elaborazione dei dati statistici e conoscitivi in materia e ne divulga i risultati, anche in ottica di formulare previsioni circa le produzioni future dei rifiuti (art.4 punto q del Regolamento).

Rilevato che

Nell’ambito dei compiti previsti dal Regolamento dell’ ORR, i funzionari della Sezione e la struttura tecnica dell’ORR hanno realizzato uno studio che ha l’obiettivo di comprendere quali siano i parametri infrastrutturali, organizzativi, demografici, sociali ed economici, che influenzano la produzione pro capite degli RSU, la raccolta differenziata e che incidano sui costi sostenuti per la raccolta e lo smaltimento degli RSU. Tra i vari obiettivi in particolare si è voluto comprendere in quale modo i Centri Comunali di Raccolta favoriscano la Raccolta differenziata degli RSU.

Lo studio è stato condotto cercando di formulare previsioni future circa la produzione dei rifiuti e la raccolta differenziata degli RSU, sviluppando modelli matematici che si basano sulle tecniche di deep learning.

Visto l’approccio innovativo nell’affrontare lo studio e l’obiettivo dell’ORR di “divulgazione dei dati statistici e di cultura ambientalista concernente i servizi di gestione integrata dei rifiuti”, si rileva necessario dare risalto al lavoro svolto attraverso la presa d’atto dello studio da parte della Giunta. Si rileva, inoltre, che sussistono le condizioni di rilevanza, interesse e innovatività dello studio per proporre una divulgazione anche internazionale del lavoro svolto, attraverso la richiesta di pubblicazione scientifica presso una rivista internazionale di settore con Impact Factor rilevante. Si ritiene che attraverso tale pubblicazione si darebbe maggiore visibilità e maggiore credibilità al lavoro svolto con positive ricadute anche in termini di lustro per l’amministrazione regionale.

Rilevato che per raggiungere gli scopi di visibilità dell’eventuale pubblicazione scientifica risulta necessario che essa sia in “open access”, ovvero sia disponibile nella visibilità per tutti, senza pagare un corrispettivo economico.

Rilevato che esiste nel Bilancio Regionale il capitolo di spesa 611105 (Missione 9 Programma 8 Titolo 1 p.c.f. 1.3.2.99) che sarebbe adatto a prevedere stanziamenti per eventuali pubblicazioni scientifiche.

Rilevato che le risultanze dello studio possono essere utili per svolgere azioni concrete per favorire la minore produzione e la maggiore raccolta differenziata degli RSU come richiesto a livello Comunitario.

Rilevato che l’art. 12 del Regolamento di Organizzazione e Funzionamento dell’ORR L.R. 36/2009, prevede che ogni anno l’Osservatorio entro il 30 Settembre di ogni anno, debba svolgere una relazione che faccia riferimento, “in generale, allo stato dell’arte in materia di gestione dei rifiuti” in Puglia e si ritiene che lo studio realizzato oggetto della presente deliberazione, risponda ai principali requisiti previsti dall’art.12.

Rilevato che è stata presentata istanza di pubblicazione del lavoro svolto all’importante giornale internazionale “*International Journal of Environmental Research and Public Health*” della casa editrice MDPI e che gli editori del giornale con nota del 11.08.2020, protocollata al A0090/20.08.2020/n°9284, hanno ritenuto l’articolo conforme ai contenuti del giornale. Lo stesso verrà sottoposto al giudizio critico di esperti internazionali

(referees) per valutare se lo stesso lavoro è meritevole di pubblicazione nel giornale. Lo stesso giornale che è "open access" ha comunicato che il costo di pubblicazione dell'articolo, in caso di esito positivo dell'istanza di pubblicazione, sarà di 2.300 CHF pari a circa 2.200 Euro.

Tutto ciò premesso e considerato, **si ritiene di proporre:**

- **la presa d'atto dello Studio** in allegato che del presente provvedimento fa parte integrante (Abstract, Studio in lingua Italiana, Studio in lingua Inglese), in adempimento alla previsione di cui dall'art.12 del Regolamento dell'ORR (DGR n°518/2010).
- **che la spesa di 2.300 CHF pari a circa 2.500 Euro**, per l'eventuale pubblicazione scientifica inerente lo studio, sul giornale internazionale "*International Journal of Environmental Research and Public Health*", trovi copertura nelle risorse stanziato nel capitolo di spesa 611105 (Missione 9 Programma 8 Titolo 1 p.c.f. 1.3.2.99) e di dare, pertanto mandato al Dirigente della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche di predisporre gli eventuali provvedimenti di impegno e liquidazione conseguenti.

GARANZIE DI RISERVATEZZA

"La pubblicazione sul BURP, nonché la pubblicazione all'Albo o sul sito istituzionale, salve le garanzie previste dalla legge 241/1990 in tema di accesso ai documenti amministrativi, avviene nel rispetto della tutela della riservatezza dei cittadini secondo quanto disposto dal Regolamento UE n. 679/2016 in materia di protezione dei dati personali, nonché dal D.Lgs. 196/2003 ss.mm.ii., ed ai sensi del vigente Regolamento regionale 5/2006 per il trattamento dei dati sensibili e giudiziari, in quanto applicabile. Ai fini della pubblicità legale, il presente provvedimento è stato redatto in modo da evitare la diffusione di dati personali identificativi non necessari ovvero il riferimento alle particolari categorie di dati previste dagli articoli 9 e 10 del succitato Regolamento UE.

COPERTURA FINANZIARIA DI CUI AL D. LGS. N. 118/2011 E S.M.I.

La presente deliberazione comporta implicazioni di natura finanziaria di spesa trovando copertura nelle risorse stanziato nel capitolo di spesa 611105 (Bilancio Autonomo - CRA 65.5 - Missione 9 Programma 8 Titolo 1 p.c.f. 1.3.2.99) per un importo di 2.500 Euro
La copertura finanziaria è assicurata in entrata dalle somme incassate al cap.1013400 nel corso dell'E.F.2020

L'Assessore alla Qualità dell'Ambiente Giovanni Francesco Stea di sulla base delle risultanze istruttorie come innanzi illustrate, ai sensi dell'articolo 4, comma 4 lettera a) della L.R. 7/1997 propone alla Giunta:

- **Di prendere atto e di approvare** quanto esposto in narrativa che qui si intende integralmente riportato;
- **Prendere atto dello Studio** in allegato che del presente provvedimento fa parte integrante (Abstract, Studio in lingua Italiana, Studio in lingua Inglese), in adempimento alla previsione di cui dall'art.12 del Regolamento dell'ORR (DGR n°518/2010).
- **che la spesa di 2.300 CHF pari a circa 2.500 Euro**, per l'eventuale pubblicazione scientifica inerente lo studio, sul giornale internazionale "*International Journal of Environmental Research and Public Health*", trovi copertura nelle risorse stanziato nel capitolo di spesa 611105 (Missione 9 Programma 8 Titolo 1 p.c.f. 1.3.2.99) e di dare, pertanto mandato al Dirigente della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche di predisporre gli eventuali provvedimenti di impegno e liquidazione conseguenti.
- **di demandare** al Segretariato Generale della Giunta regionale l'implementazione della Sezione Amministrazione Trasparente ai sensi dell'art. 33/2013;
- **di pubblicare** il presente provvedimento sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia in versione integrale.

I sottoscritti attestano che il procedimento istruttorio loro affidato è stato espletato nel rispetto della vigente normativa regionale, nazionale e europea e che il presente schema di provvedimento, dagli stessi predisposto ai fini dell'adozione dell'atto finale da parte della Giunta regionale, è conforme alle risultanze istruttorie.

Il Funzionario PO: (dott. Fabrizio Fasano)

Il Dirigente della Sezione "Ciclo Rifiuti e Bonifiche": (ing. Giovanni SCANNICCHIO)

Il Direttore ai sensi dell'art. 18, co. 1, Decreto del Presidente della Giunta regionale 31 luglio 2015, n. 443 e ss.mm.ii., NON RAVVISA / RAVVISA le osservazioni riportate nell'allegato.... alla presente proposta di DGR.

Il Direttore del Dipartimento "Mobilità, Qualità urbana, Opere pubbliche, Ecologia e Paesaggio:
(ing. Barbara VALENZANO)

L'Assessore alla "Qualità dell'Ambiente": (Giovanni Francesco STEA)

LA GIUNTA

udita la relazione e la conseguente proposta dell'Assessore alla Qualità dell'Ambiente e dell'Assessore al Bilancio;

viste le sottoscrizioni poste in calce alla proposta di deliberazione;

a voti unanimi espressi nei modi di legge.

DELIBERA

- **Di prendere atto e di approvare** quanto esposto in narrativa che qui si intende integralmente riportato;
- **Prendere atto dello Studio** in allegato che del presente provvedimento fa parte integrante (Abstract, Studio in lingua Italiana, Studio in lingua Inglese), in adempimento alla previsione di cui dall'art.12 del Regolamento dell'ORR (DGR n°518/2010).
- **che la spesa di 2.300 CHF pari a circa 2.500 Euro**, per l'eventuale pubblicazione scientifica inerente lo studio, sul giornale internazionale "*International Journal of Environmental Research and Public Health*", trovi copertura nelle risorse stanziato nel capitolo di spesa 611105 (Missione 9 Programma 8 Titolo 1 p.c.f. 1.3.2.99) e di dare, pertanto mandato al Dirigente della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche di predisporre gli eventuali provvedimenti di impegno e liquidazione conseguenti.
- di **demandare** al Segretariato Generale della Giunta regionale l'implementazione della Sezione Amministrazione Trasparente ai sensi dell'art. 33/2013;
- **Di pubblicare** il presente provvedimento sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia in versione integrale.

Il Segretario Generale della Giunta
GIOVANNI CAMPOBASSO

Il Presidente della Giunta
ANTONIO NUNZIANTE



REGIONE PUGLIA
SEZIONE BILANCIO RAGIONERIA PARERE DI REGOLARITA' CONTABILE
(D. Lgs. n. 118/11 e s.m.i.)

UFFICIO	TIPO	ANNO	NUMERO	DATA
RSU	DEL	2020	25	15.09.2020

PRESA D'ATTO DELLO STUDIO #ANALISI DELLE VARIABILI CHE INFLUENZANO LA PRODUZIONE PRO CAPITE, LA RACCOLTA DIFFERENZIATA E I COSTI DI GESTIONE DEGLI RSU IN PUGLIA: UN'ESPERIENZA DI DEEP LEARNING" REALIZZATO ANCHE IN OSSEQUIO ALL'ART.12 DEL REGOLAMENTO DI ORGANIZZAZIONE E FUNZIONAMENTO DELL'ORR L.R. 36/2009 (DGR N°518/2010).

Si esprime: PARERE POSITIVO

Responsabile del Procedimento

PO - CARMEN PARTIPILO

Dirigente

D.SSA REGINA STOLFA



**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA,
OPERE PUBBLICHE E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE****Presa d'atto dello studio "Analisi delle variabili che influenzano la produzione pro capite, la raccolta differenziata e i costi di gestione degli RSU in Puglia: un'esperienza di deep learning" – Abstract**

L'ORR così come definito dal proprio Regolamento di Organizzazione e funzionamento (DGR n.518 del 23/02/2010) è incardinato presso l'Assessorato alla Qualità dell'Ambiente della Regione Puglia, alle dirette dipendenze funzionali della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche (art.1). Esso supporta la Regione Puglia nell'attuazione di politiche ambientali avanzate in materia di gestione dei rifiuti in territorio regionale. In quest'ottica, raccoglie dati relativi alla gestione dei rifiuti in atto nel territorio regionale mediante la costituzione e la gestione di una banca dati, approfondisce l'elaborazione dei dati statistici e conoscitivi in materia e ne divulga i risultati, anche in ottica di formulare previsioni circa le produzioni future dei rifiuti (art.4 punto q del Regolamento).

Nell'ambito di queste attività è stato sviluppato il presente studio, **finalizzato all'analisi delle variabili infrastrutturali, organizzativi, demografici, sociali ed economici, che incidono sulla produzione pro capite degli RSU, sulla raccolta differenziata e sui costi sostenuti per la raccolta e lo smaltimento degli RSU; con particolare attenzione ai Centri Comunali di Raccolta.**

Per raggiungere tale obiettivo ci si è approcciati con tecniche di deep learning. Tali tecniche, estremamente innovative, consentono di sviluppare modelli che permettono di "predire" l'andamento futuro, ad esempio della raccolta differenziata, prendendo in considerazione in contemporanea tutte le variabili indipendenti dello studio (infrastrutturali, sociali, demografici etc.). In pratica, tali modelli riescono ad individuare e pesare le relazioni esistenti tra le variabili oggetto dello studio (es. raccolta differenziata) e le variabili indipendenti, sulla base dei dati a disposizione ed a "predire" il valore, ad esempio, della raccolta differenziata al variare di una delle variabili indipendenti (es. presenza o meno della raccolta porta a porta). Tali tecniche vengono utilizzate nei più svariati campi anche dalle più grandi ed innovative società internazionali (es. Google, facebook).

Lo studio ha raccolto dati da diverse fonti riuscendo **a definire per il periodo 2008 -2018 ben 102 indicatori da considerare come variabili indipendenti per "predire" i tre oggetti di studio (produzione pro capite RSU, Raccolta differenziata e Costi per la gestione degli RSU).**

Si è notato, dai modelli utilizzati in questo studio che, **le tipologie di strutture residenziali sono un fattore importante nella produzione dei rifiuti. In particolare, laddove i numeri di interni degli edifici residenziali sono bassi e medi (fino a 8 interni) vi è una tendenza ad una minore produzione dei rifiuti. Superato tale numero, vi è una tendenza all'incremento della produzione dei rifiuti.** Tali dati sono in coerenza con alcuni studi che hanno evidenziato un rapporto direttamente proporzionale tra la grandezza degli edifici e la produzione di rifiuti. In contrapposizione si nota che, nei **Comuni con un'alta percentuale di edifici con maggiori dimensioni (maggiori di 16 interni e con più di quattro piani) vi è una tendenza a fare meno raccolta differenziata.** Molte possono essere le possibili spiegazioni: dalle difficoltà di organizzare un'efficiente sistema di raccolta differenziata all'interno di tali aree ad aspetti più collegati alle caratteristiche socio-economiche prevalenti degli abitanti di tali edifici.

www.regione.puglia.it

SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE

Via Gentile, 52 – 70125 Bari (BA)

pec: serv.rifiutiebonifica@pec.rupar.puglia.it

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA,
OPERE PUBBLICHE E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE**

Dove vi sono molti edifici di periodo costruttivo meno recente, vi è una tendenza ad avere una minore produzione di rifiuti e costi per il trasporto e smaltimento dei rifiuti più bassi. Una delle possibili spiegazioni potrebbe essere legata al tasso di abbandono degli edifici. La considerazione di tale fattore, come di fattori collegati ai titoli di studio ed ai tassi di disoccupazione della popolazione, potrebbero perfezionare e limare gli errori dei modelli utilizzati.

Coerentemente con molti studi, **un importante fattore influente sulla produzione dei rifiuti, riguarda l'aspetto reddituale della popolazione. In particolare si nota che le classi di reddito basse e medie (fino ai 55.000 Euro annui) sono molto influenti sulla produzione dei rifiuti.**

Nell'ambito della produzione di inquinamento si è teorizzata l'Environmental Kuznets Curve in cui ad un iniziale incremento dell'inquinamento (in questo caso la produzione dei rifiuti) correlato all'incremento dei redditi pro capite, segue da un certo punto un declino dovuto ad una maggiore disponibilità a pagare per avere una maggiore qualità ambientale. Uno studio in Lombardia ha evidenziato che tale punto in cui incomincia la discesa della produzione dei rifiuti all'aumentare del reddito, si attesta tra i 23.500 ed i 28.000 Euro

I dati pugliesi sembrano suggerire una produzione dei rifiuti in incremento sempre più forte all'aumentare delle classi di reddito dai 0-10.000 Euro (+7% di produzione per ogni percentuale di incremento di tale fascia di reddito), 10.000-15.000 Euro (+7,8%), 15.000-26.000 Euro (+10,5%), per poi incominciare l'appiattimento della curva di incremento dalla classe 26.000-55.000 Euro (+6,8%).

Anche il dato della maggiore produzione dei rifiuti e dei relativi maggiori costi di gestione degli RSU nei Comuni costieri, dove sono presenti in Puglia, i maggiori centri urbani e attrattivi dal punto di vista turistico, risulta coerente con quanto riportato in molti studi. Gli arrivi turistici infatti, sono fattori che vanno ad incidere in maniera importante sia nella raccolta differenziata (tra i primi 20 fattori per influenza), ma soprattutto nelle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (andamento direttamente proporzionale con tale variabile).

Come da previsione, i fattori che maggiormente influenzano la raccolta differenziata sono stati **l'adozione della raccolta porta a porta** (l'attivazione porta un incremento di raccolta differenziata tra il 3,2% ed il 18,8%, con una media dell'11%) **e la raccolta della frazione FORSU. In particolare la raccolta spinta della FORSU incide fortemente sulla raccolta differenziata anche per le caratteristiche della produzione dei rifiuti in Puglia.** Coerentemente con le altre parti del mondo infatti, la parte della frazione organica **risulta una delle principali frazioni merceologiche dei rifiuti prodotti (circa il 19% in Puglia, dai dati dell'Osservatorio dei Rifiuti del 2018).**

Infine, concentrandosi sui **Centri Comunali di Raccolta**, si nota come essi incidono in **maniera importante nell'incremento della percentuale della raccolta differenziata.** I Centri Comunali di Raccolta hanno un'influenza sulla raccolta differenziata **che può variare dal +2,2% al +17,8% con una media del 10%, passando dalla non presenza del Centro, alla raccolta del 100% dei rifiuti differenziati al suo interno.** Per ogni % di rifiuto differenziato raccolto all'interno dei CCR vi è, in sostanza, un incremento di raccolta differenziata che va dal +0,02% al +0,18%. **Allo stesso tempo, i Centri Comunali di Raccolta non incidono presi singolarmente, in maniera rilevante, sulle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti. Tale spesa diventa rilevante se associata alla raccolta porta a porta dei rifiuti.**

www.regione.puglia.it

SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE

Via Gentile, 52 – 70125 Bari (BA)

pec: serv.rifiutiebonifica@pec.rupar.puglia.it



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA,
OPERE PUBBLICHE E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE

Lo studio ha voluto approcciare il problema della produzione, raccolta differenziata e costi di gestione degli RSU in maniera innovativa, sviluppando modelli di calcolo basati sul deep learning. Tale branca di modelli, si rilevano molto potenti e stanno avendo sviluppi interessanti e di successo in numerosi ambiti. **I modelli sviluppati dallo studio, con un buon livello di precisione, hanno permesso di comprendere meglio le dinamiche riguardanti tale settore e possono essere utilizzati anche in altri ambiti territoriali.** Sviluppi futuri potrebbero affinare tali modelli e rendere le informazioni derivanti, maggiormente precise. Il presente studio, ha dimostrato, tra l'altro, come sia importante combinare servizi come i CCR e la raccolta Porta a Porta. Tale combinazione conduce ad un rilevante incremento della raccolta differenziata, con i relativi vantaggi sia in ambito ambientale che sanitario. **Dalle considerazioni di tale studio possono derivarne operazioni concrete per agire sia sull'attivazione più efficace ed efficiente di tali servizi, sia per agire in maniera "chirurgica" su quelle variabili che incidono sensibilmente sulla gestione degli RSU.**

www.regione.puglia.it

SEZIONE CICLO DEI RIFIUTI E BONIFICHE

Via Gentile, 52 – 70125 Bari (BA)

pec: serv.rifiutiebonifica@pec.rupar.puglia.it

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

Analisi delle variabili che influenzano la produzione pro capite, la raccolta differenziata e i costi di gestione degli RSU in Puglia: un'esperienza di deep learning.

Fabrizio Fasano, Anna Sabrina Addante, Barbara Valenzano, Giovanni Scannicchio

1. Introduzione

Nel 7° Programma d'azione europeo per l'ambiente, "Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta", l'UE formula una visione per il 2050: una società a basse emissioni di carbonio, un'economia verde e circolare ed ecosistemi resilienti alla base del benessere dei cittadini. Per raggiungere tali obiettivi però numerose sono le sfide da affrontare legate a sistemi di produzione e consumo insostenibili e ai loro impatti nel lungo termine, spesso complessi e cumulativi, sugli ecosistemi e sulla salute delle persone. In particolare preoccupano gli impatti ambientali derivanti dalla nostra economia lineare, basata sul principio "compra-usa-getta", per la nostra non sostenibile dipendenza da molte risorse naturali, per l'impronta ecologica che supera la capacità di assimilazione del pianeta. Al fine di rendere "circolare" le economie risulta fondamentale impostare un sistema di gestione dei rifiuti urbani (da ora RSU) che possa tendere da un lato alla riduzione della produzione degli stessi e dall'altro ad incrementare il più possibile, il riuso e/o il riciclaggio. Il trattamento ed il trasporto degli RSU deve essere improntato, inoltre a ridurre al minimo gli impatti su tutte le matrici ambientali.

La direttiva quadro sui rifiuti 2008/98/CE prevedeva all'art. 11, paragrafo 2, lettera a) che, entro il 2020, la preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio di rifiuti quali, come minimo, carta, metalli, plastica e vetro provenienti dai nuclei domestici, e possibilmente di altra origine, nella misura in cui tali flussi di rifiuti sono simili a quelli domestici, siano aumentati complessivamente almeno al 50% in termini di peso. Di conseguenza, per promuovere il riciclaggio di "alta qualità" (direttiva 2008/98/CE, art. 11, paragrafo 1) gli Stati membri "istituiscono la raccolta differenziata dei rifiuti, ove essa sia fattibile sul piano tecnico, ambientale ed economico e al fine di soddisfare i necessari criteri qualitativi per i settori di riciclaggio pertinenti". La direttiva 2008/98/CE, pur non prevedendo target di raccolta differenziata, richiede, dunque, che si proceda all'attivazione della stessa e che siano conseguiti obiettivi di preparazione per il riutilizzo e riciclaggio almeno per le quattro frazioni carta, metalli, plastica e vetro. Tale direttiva è stata recepita in Italia con il decreto legislativo 3 dicembre 2010 n. 205, di modifica del decreto legislativo n. 152/2006, che rafforza le indicazioni della direttiva in merito alla raccolta differenziata, stabilendo che la raccolta differenziata deve riguardare almeno le seguenti frazioni: a. carta; b. metalli; c. plastica; d. vetro; e. ove possibile il legno.

Con il decreto 8 aprile 2008 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare sono stati disciplinati i centri di raccolta dei rifiuti urbani elencando le tipologie di rifiuti che possono essere ivi conferiti. Si applicano le definizioni di cui agli articoli 183 e 218 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, nonch i criteri di classificazione dei rifiuti urbani di cui all'art. 184, comma 2 e, ai fini dell'attuazione della raccolta differenziata dei rifiuti organici, i criteri dell'art. 182 -ter del medesimo decreto.

Con legge 28 dicembre 2015, n. 221, recante "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali", è stato modificato l'art. 205 del

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

D.Lgs. n. 152/2006– T.U. Ambiente, prevedendo nuove misure per incrementare le percentuali di raccolta differenziata ed il riciclaggio dei rifiuti.

Con decreto 26 maggio 2016 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare sono state introdotte le linee guida per il calcolo della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani, dando facoltà alle Regioni, di conteggiare nella quota di raccolta differenziata, i rifiuti avviati a compostaggio domestico, di prossimità e di comunità che, secondo quanto indicato dalla decisione 2011/753/EU recante *“Regole e modalità di calcolo per il rispetto degli obiettivi di riciclaggio e recupero dei rifiuti”*, rientra tra le operazioni di riciclaggio dei rifiuti.

La Regione Puglia, con D.G.R. 1548 del 11/10/2016, ha prontamente recepito le linee guida per il calcolo della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani e assimilati, predisposte dalla struttura tecnica dell'Osservatorio Regionale Rifiuti (ORR). L'ORR è stato istituito con legge regionale 31 dicembre 2009, n. 36, quale strumento tecnico-amministrativo incardinato presso l'Assessorato alla Qualità dell'Ambiente della Regione Puglia con il compito di assicurare il monitoraggio complessivo del ciclo integrato dei rifiuti.

L'ORR supporta la Regione Puglia nell'attuazione di politiche ambientali avanzate in materia di gestione dei rifiuti in territorio regionale. In quest'ottica, raccoglie i dati relativi alla produzione, raccolta, raccolta differenziata, recupero e smaltimento dei rifiuti urbani e speciali, pericolosi e non pericolosi in atto nel territorio regionale mediante la costituzione e la gestione di una banca dati, approfondisce l'elaborazione dei dati statistici e conoscitivi in materia e ne divulga i risultati.

Nell'ambito di queste attività, è stato sviluppato il presente studio, finalizzato all'analisi dei parametri infrastrutturali, organizzativi, demografici, sociali ed economici, in relazione alla produzione pro capite degli RSU, alla raccolta differenziata e ai costi sostenuti per la raccolta e lo smaltimento degli RSU; con particolare attenzione ai Centri Comunali di Raccolta, ovvero in quale modo favoriscano la Raccolta differenziata degli RSU.

Per raggiungere tale obiettivo si sono creati dei modelli matematici basati su un approccio di deep learning.

Il Deep Learning (letteralmente apprendimento profondo) fa parte di una famiglia più ampia di metodi di apprendimento automatico (machine learning) basati sulle reti neurali artificiali (Bengio Y et al., 2013). Attraverso questi approcci si crea un modello di apprendimento automatico a più livelli (layer), all'interno del quale i livelli più profondi ricevono input dai livelli precedenti, trasformandoli e astruendoli sempre di più. Questa intuizione sui livelli di apprendimento dà il nome all'intero ambito (apprendimento in profondità) e si ispira al modo in cui il cervello dei mammiferi processa le informazioni ed impara, rispondendo agli stimoli esterni. Il cervello utilizza i neuroni (oltre 100 miliardi in un cervello umano) e le connessioni tra gli stessi (dette *“sinapsi”* - stimate 125.000 miliardi in un cervello umano) per processare le informazioni che provengono dal mondo esterno (input), creando percorsi che diventano più forti sulla base delle nozioni apprese dall'esperienza. In maniera paragonabile anche nelle architetture preposte al Deep Learning, vengono creati strati di neuroni e connessioni tra gli stessi che, partendo dai dati di input, creano dei percorsi per arrivare ad un risultato di output. Tali percorsi diventano sempre più precisi, grazie a processi di apprendimento su un numero di periodi definito dal creatore del modello (epoche di apprendimento). In questi periodi di apprendimento (fase di training del modello), il modello commette errori di previsione dell'output e con l'avanzare dei periodi di apprendimento diventa sempre più preciso, *“imparando”* dagli errori commessi nei periodi precedenti.

Le tecniche di deep learning sono ampiamente utilizzate in molti aspetti della società moderna: dall'ambito medico (Ching 2018), alle ricerche sul web, al filtraggio dei contenuti sui social network, alle raccomandazioni sui siti Web di e-commerce, ed è sempre più presente nei prodotti di consumo come fotocamere e smartphone. I sistemi di deep learning vengono utilizzati per identificare oggetti nelle immagini, trascrivere il



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

parlato in testo, abbinare elementi di notizie, post o prodotti, con gli interessi degli utenti e selezionare i risultati pertinenti della ricerca (Goodfellow G I et al. 2015) .

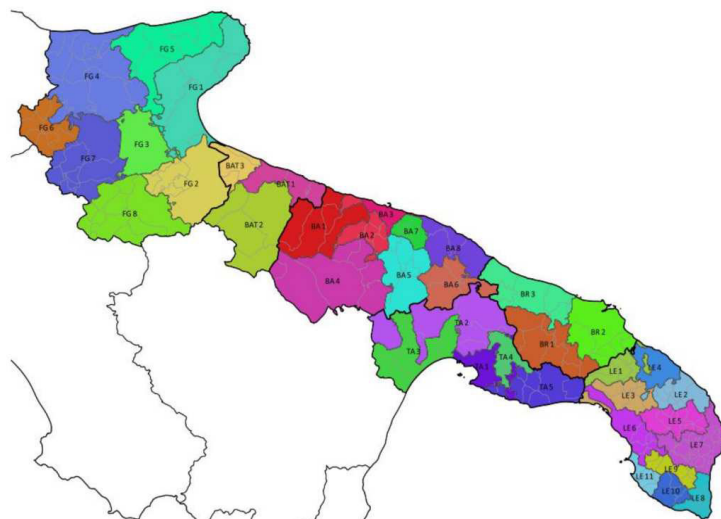
2. Materiali e Metodi

2.1 – Il territorio di studio

La Puglia è collocata nel sud est dell'Italia, con una superficie di 19.347 km², 800 Km di costa e circa 4.000.000 di abitanti (De Giglio et al. 2019). All'interno della Regione sono presenti 257 Comuni.

Al fine di consentirne la differenziazione territoriale e una maggiore efficienza, i servizi di spazzamento, raccolta e trasporto di tutti i rifiuti urbani e assimilati sono stati organizzati in 38 aree omogenee, corrispondenti agli ambiti di raccolta ottimali individuati dalla Delibera di Giunta Regionale n. 2147/2012 (Fig.1).

Fig. 1 – Organizzazione per aree omogenee dei servizi di spazzamento, raccolta e trasporto RSU in Puglia. (Fonte: Invitalia – Assetti Organizzativi Gestionali del Servizio di Gestione di Servizi Urbani – Report di rilevazione Puglia – Giugno 2018)



Analizzando la produzione pro capite dei rifiuti (kg/abitante anno) e della raccolta differenziata pugliese rispetto al contesto nazionale, si nota come la Puglia sia la Regione con maggiore produzione pro capite del Sud Italia (Fig.2) e la quart'ultima Regione italiana per percentuale di raccolta differenziata (Fig.3).



REGIONE PUGLIA

DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 2 – Produzione pro capite annua di RSU per Regione – anno 2017-2018 (Fonte: ISPRA – Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2019).

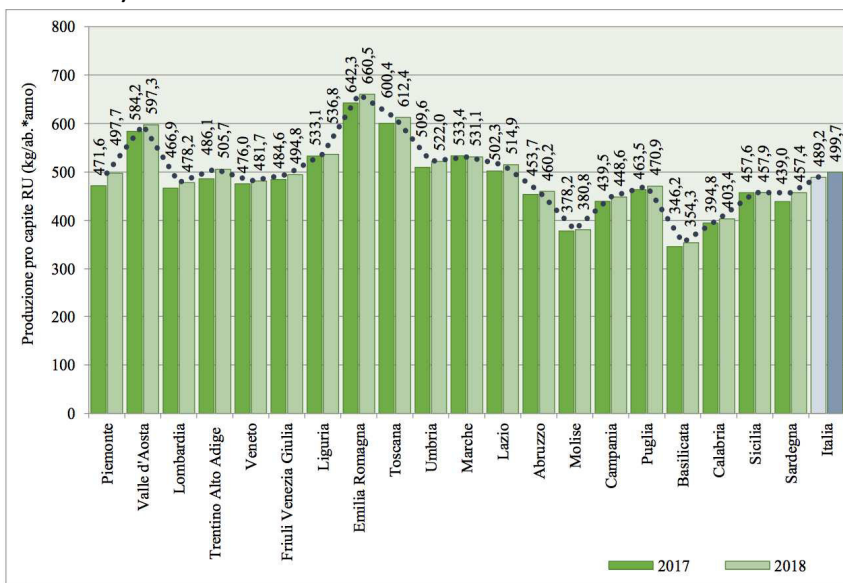
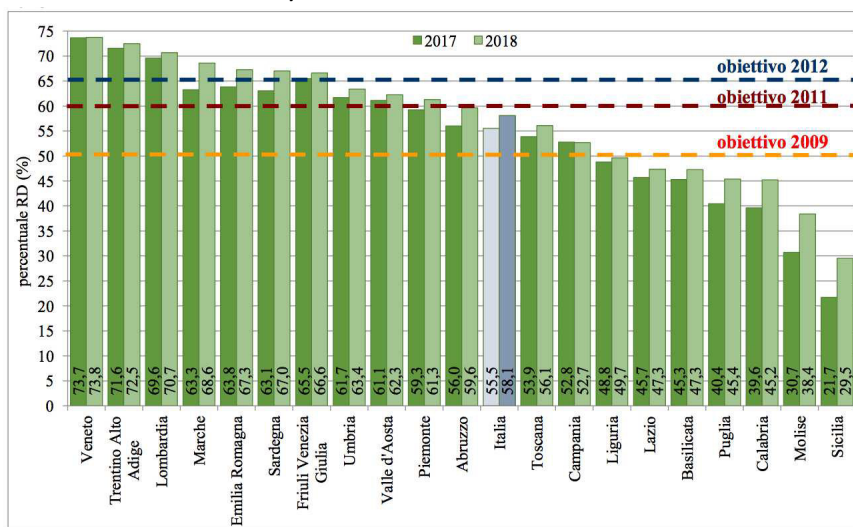


Fig. 3 – Percentuale di raccolta differenziata nelle varie Regioni Italiane – anno 2017-2018 (Fonte: ISPRA – Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2019)



**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

2.2 – Raccolta dati

Allo scopo di raccogliere i dati organizzativi, economici, infrastrutturali, sociali e demografici di ciascun comune per il periodo 2008-2018, utili per lo studio, sono state consultate diverse fonti che si citano di seguito:

Dati demografici, sociali ed infrastrutturali

Attraverso il portale <http://dati.istat.it> è stato possibile raccogliere i seguenti dati per ciascun comune:

- Popolazione residente (dato complessivo, per età, per sesso, per stato civile)
- Densità (abitante per km²)
- Numero Componenti per famiglia
- Indicatori demografici (Tasso di mortalità, Tasso di natalità, Saldo naturale, Saldi migratori, Saldo Totale)
- Estensione territoriali
- Numero di edifici residenziali per epoca di costruzione, per numero di interni e per numero di piani (dati del censimento sulla popolazione e gli edifici 2011)
- Numero di unità locali delle imprese attive per tipologia (Codice di classificazione ATECO a due cifre)

Dati sulla produzione di rifiuti e sulla raccolta differenziata

Tali dati sono comunicati mensilmente dai Comuni Pugliesi sul portale ambientale - Osservatorio Rifiuti Regione Puglia (http://ecologia.regione.puglia.it/portal/portale_orp) e consultabili pubblicamente.

La percentuale di raccolta differenziata viene calcolata sulla base delle "Linee guida relative al calcolo della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani e assimilati" introdotte dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e dell'Ambiente con Decreto del 26 Maggio 2016 e recepite dalla Regione Puglia (DGR 1548/2016 - http://cartografia.sit.puglia.it/WEBDAV/ORP/ORP_ALLEG_09112016101318.pdf).

I dati trasmessi sono suddivisi per codice CER e pertanto è stato possibile raggruppare tali codici per le principali frazioni merceologiche di raccolta differenziata (carta e cartone, plastica, vetro, FORSU, verde, multimateriale, alluminio)

Redditi e principali variabili Irpef

E' stato possibile recuperare dal sito del Ministero delle Finanze (https://www1.finanze.gov.it/finanze3/analisi_stat/index.php?search_class%5B0%5D=cCOMUNE&opendata=yes) dati inerenti le variabili: Numero contribuenti, Reddito complessivo minore o uguale a zero euro, Reddito complessivo da 0 a 10000 euro, Reddito complessivo da 10000 a 15000 euro, Reddito complessivo da 15000 a 26000 euro, Reddito complessivo da 26000 a 55000 euro, Reddito complessivo da 55000 a 75000 euro, Reddito complessivo da 75000 a 120000 euro, Reddito complessivo oltre 120000 euro.

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

Consumo di suolo

I dati sulla percentuale di consumo di suolo rispetto all'estensione totale sono rilevabili sul sito dell'ISPRA <http://www.isprambiente.gov.it/temi/soilo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>

Dati di Bilancio dei Comuni e delle forme di gestione degli RSU

I dati di bilancio inerenti le spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti sono stati forniti dal Ministero dell'Interno – Dipartimento per gli Affari Interni e territoriali – Direzione Centrale per la Finanza Locale. All'interno di tali dati vi erano anche notizie sulla tipologia di servizio utilizzato per la raccolta e lo smaltimento degli RSU (es. servizio gestito in economia, servizio gestito con impresa privata etc) dal 2008 al 2015.

Dati sui Centri Comunali di Raccolta e Data di partenza della Raccolta Porta a Porta

Al riguardo è stato predisposto un questionario, utilizzando l'applicativo "moduli" di google, rivolto a tutti i Comuni Pugliesi per raccogliere informazioni in merito a:

- presenza o meno nel territorio comunale di un Centro Comunale di Raccolta (CCR);
- quantitativi di RSU trattati dai CCR per ciascuno degli anni 2008 - 2018;
- data di partenza della raccolta porta a porta;
- tipo di servizio utilizzato per la raccolta e lo smaltimento degli RSU per ciascuno degli anni 2016 - 2018. Il quesito è stato predisposto nella stessa maniera dei dati forniti dal Ministero dell'Interno in maniera da avere una base dati completa ed affidabile.

Per i Comuni non rispondenti è stato possibile colmare le lacune dei dati mancanti andando a visitare i siti ufficiali degli stessi.

Prima di sottoporre il questionario a tutti i Comuni, lo stesso è stato sottoposto ad un campione di 15 Comuni e sulle risposte è stato calcolato l'*alpha di Cronbach (coefficiente α)*¹. Il risultato è stato pari a 0,97. Tale indicatore è stato poi calcolato anche a fine ricognizione, dando un risultato di 0,92.

Dati sugli arrivi e presenze turistiche

I dati pugliesi degli arrivi turistici (numero di turisti che hanno visitato la Puglia) e presenze turistiche (arrivi turistici moltiplicati per i giorni di permanenza) sono stati raccolti tramite il sito dell'Agenzia Regionale Puglia Promozione (<https://www.agenziapugliapromozione.it/portal/osservatorio-del-turismo>).

Comuni Costieri o Interni

Il suddetto dato è stato raccolto attraverso un'analisi cartografica del territorio.

2.3 – Individuazione degli indicatori da utilizzare per le analisi ed elaborazione degli stessi

¹ L'*alpha di Cronbach (coefficiente α)* è un Indicatore statistico utilizzato per misurare l'attendibilità dei questionari, ovvero per verificare la riproducibilità nel tempo, a parità di condizioni, dei risultati da essi forniti. In genere valori alti di attendibilità sono da considerarsi quelli che vanno da 0,70 in su (George, D. et al. 2003).



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Sulla base della raccolta dei dati effettuata e descritta nel paragrafo precedente sono stati individuati 102 indicatori/variabili. Nella Tab.1 si specifica quali siano gli indicatori utilizzati per valutarne l'influenza rispetto alla variabile di studio (variabile dipendente).

Tali variabili di studio sono state:

1. Produzione pro capite di rifiuti annua (Kg): tale dato è stato corretto tenendo conto anche delle presenze e degli arrivi turistici;
2. Percentuale di Raccolta differenziata (%);
3. Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (Euro per abitante all'anno).

Come evidente in alcuni studi, alcune variabili, da essere oggetto di studio, diventano variabili indipendenti.

La scelta dell'esclusione di alcuni indicatori risponde a logiche di chiara inesistenza di una possibile influenza degli stessi rispetto alla variabile di studio.

Tab.1 – Indicatori utilizzati e scelta degli stessi a seconda della variabile di studio (X = indicatore considerato nello studio. Evidenziate in giallo le variabili oggetto di studio, presenti nelle righe della tabella)

N	Indicatore/Variabile indipendente	Produzione pro capite annua (abitanti=arrivi turistici) di RSU (Kg)	Percentuale di raccolta differenziata –	Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (Euro Abitante annuo)
1	Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (Euro Abit. annuo)			
2	Ambito omogeneo di gestione RSU		X	X
3	Percentuale di Raccolta differenziata			X
4	Produzione pro capite annua di RSU (Kg)			X
5	Densità abitativa (Abitante per Km2)	X	X	X
6	Tipo di Comune (Costiero/Interno)	X	X	X
7	Totale abitanti	X	X	X
8	% abitanti età 0-14 / Tot. Abitanti	X	X	X
9	% abitanti età 15-24 / Tot. Abitanti	X	X	X
10	% abitanti età 25-34 / Tot. Abitanti	X	X	X
11	% abitanti età 35-44 / Tot. Abitanti	X	X	X
12	% abitanti età 45-54 / Tot. Abitanti	X	X	X
13	% abitanti età 55-64 / Tot. Abitanti	X	X	X
14	% abitanti . età>65 / Tot. Abitanti	X	X	X
15	N componenti per famiglia	X	X	X
16	Arrivi turistici	X	X	X
17	% degli arrivi di turisti stranieri/tot.arrivi	X	X	X
18	Presenze turistiche/arrivi	X	X	X
19	N di edifici residenziali	X	X	X
20	% edifici anno di costruzione <1918/ Tot. Edifici	X	X	X
21	% edifici anno di costruzione 1919-1945/ Tot. Edifici	X	X	X
22	% edifici anno di costruzione 1946-1960/ Tot. Edifici	X	X	X
23	% edifici anno di costruzione 1961-1970/ Tot. Edifici	X	X	X
24	% edifici anno di costruzione 1971-1980/ Tot. Edifici	X	X	X
25	% edifici anno di costruzione 1981-1990/ Tot. Edifici	X	X	X
26	% edifici anno di costruzione 1991-2000/ Tot. Edifici	X	X	X



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

27	% edifici anno di costruzione 2001-2005/ Tot. Edifici	X	X	X
28	% edifici anno di costruzione dopo 2006/ Tot. Edifici	X	X	X
29	% edifici con 1 interno/ Tot. Edifici	X	X	X
30	% edifici con 2 interni/ Tot. Edifici	X	X	X
31	% edifici con 3-4 interni/ Tot. Edifici	X	X	X
32	% edifici con 5-8 interni/ Tot. Edifici	X	X	X
33	% edifici con 9-15 interni/ Tot. Edifici	X	X	X
34	% edifici >16 interni/ Tot. Edifici	X	X	X
35	% edifici con 1 piano/Tot. Edifici	X	X	X
36	% edifici con 2 piani/Tot. Edifici	X	X	X
37	% edifici con 3 piani/Tot. Edifici	X	X	X
38	% edifici > 4 piani/Tot. Edifici	X	X	X
39	% popolazione maschile/Tot. Abitanti	X	X	X
40	% popolazione femminile/Tot. Abitanti	X	X	X
41	% popolazione nubile/Tot. Abitanti	X	X	X
42	% popolazione coniugata/Tot. Abitanti	X	X	X
43	% popolazione divorziata/Tot. Abitanti	X	X	X
44	% popolazione vedova/Tot. Abitanti	X	X	X
45	% popolazione unita civilmente/Tot. Abitanti	X	X	X
46	% Consumo di suolo/ Estensione territoriale	X	X	X
47	Tasso di natalità per mille abitanti	X	X	X
48	Tasso di mortalità per mille abitanti	X	X	X
49	% Saldo naturale/ popolazione	X	X	X
50	% Saldo migratorio interno/ popolazione	X	X	X
51	% Saldo migratorio esterno/ popolazione	X	X	X
52	% Saldo migratorio / popolazione	X	X	X
53	% Saldo totale/ popolazione	X	X	X
54	N convivenze/N di famiglie	X	X	X
55	Reddito annuo 0 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
56	Reddito annuo 0-10.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
57	Reddito annuo 10.000-15.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
58	Reddito annuo 15.000-26.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
59	Reddito annuo 26.000-55.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
60	Reddito annuo 55.000-75.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
61	Reddito annuo 75.000-120.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
62	Reddito annuo >120.000 euro - Frequenza/popolazione	X	X	X
63	Reddito complessivo /popolazione	X	X	X
64	Reddito annuo 0-10.000 euro - Ammontare /Reddito complessivo	X	X	X
65	Reddito annuo 10.000-15.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
66	Reddito annuo 15.000-26.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
67	Reddito annuo 26.000-55.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
68	Reddito annuo 55.000-75.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
69	Reddito annuo 75.000-120.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
70	Reddito annuo >120.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	X	X	X
71	% frequenza dichiaranti/popolazione	X	X	X



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

72	% frequenza dichiaranti reddito >0/popolazione	X	X	X
73	Totale unità locali delle imprese attive per Km2	X	X	X
74	C - Imprese manifatturiere - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
75	CA - Industrie alimentari, delle bevande e del tabacco - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
76	CB - Industrie tessili, abbigliamento, pelli e accessori - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
77	CC - Industria del legno, della carta e stampa - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
78	16 - industria del legno e dei prodotti in legno e sughero - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
79	CG - Fabbricazione di articoli in gomma e materie plastiche, altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
80	CH - Fabbricazione di metalli di base e lavorazione di prodotti in metallo, esclusi macchine e impianti - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
81	26 - Fabbricazione di computer e prodotti di elettronica ed ottica - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
82	CJ - Fabbricazione di apparecchi elettrici - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
83	CK - Fabbricazione di macchinari ed apparecchi n.c.a. - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
84	E - Fornitura di acqua; reti fognarie, attività di trattamento dei rifiuti e risanamento - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
85	F - Costruzioni - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
86	G - Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
87	H - Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di autoveicoli e motocicli - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
88	I - Servizi di alloggio e ristorazione - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
89	J- Servizi di informazione e comunicazione- unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
90	P - Istruzione - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
91	R - Attività artistiche, di intrattenimento e divertimento - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
92	93 -Attività sportive di intrattenimento e di divertimento - unità locali delle imprese attive per km2	X	X	X
93	servizio utilizzato per la raccolta e lo smaltimento degli RSU		X	X
94	Attivazione servizio porta a porta		X	X
95	% di rifiuti trattati nei CCR/Totale rifiuti differenziati		X	X
96	% Forsu differenziata/ totale rifiuti differenziati		X	X
97	% Verde / totale rifiuti differenziati		X	X
98	% Vetro / totale rifiuti differenziati		X	X
99	% Carta e Cartone / totale rifiuti differenziati		X	X
100	% Plastica / totale rifiuti differenziati		X	X
101	% Lattine e alluminio / totale rifiuti differenziati		X	X
102	% Multimateriale / totale rifiuti differenziati		X	X
	Totale Indicatori considerati	88	99	101

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

2.4 – Trattamento degli indicatori di tipo qualitativo e dei dati mancanti

Tra i 102 indicatori considerati nello studio, 4 degli indicatori hanno formato qualitativo. Per considerarli all'interno dell'algoritmo di analisi, descritto nel paragrafo successivo, sono stati trattati in maniera tale da trasformarli in formato quantitativo nel seguente modo :

- **Ambito omogeneo di gestione RSU:** ad ognuno dei 38 ambiti omogenei pugliesi è stato attribuito un codice progressivo da 1 a 38;
- **Comune costiero/interno:** ai comuni costieri è stato attribuito il codice 2, mentre ai comuni interni il codice 1;
- **Servizio utilizzato per la raccolta e lo smaltimento degli RSU:** si è utilizzata la stessa classificazione numerica utilizzata dal Ministero dell'Interno:
 - o 1 : servizio gestito in economia.
 - o 2 : servizio gestito con azienda municipalizzata.
 - o 3 : servizio gestito con azienda provincializzata.
 - o 4 : servizio gestito con azienda consortile.
 - o 5 : servizio in concessione ad impresa privata.
 - o 6 : servizio in concessione ad imprese ed enti pubblici.
 - o 7 : servizio con gestione consortile, ente capo consorzio.
 - o 8 : servizio con gestione consortile, ente consorziato.
 - o 9 : servizio con altra fattispecie di gestione.
- **Attivazione Servizio di raccolta porta a porta:** laddove presente tutto l'anno, il valore assegnato è stato 1, se non attivato il valore assegnato è stato pari a 0. Laddove partito nel corso dell'anno, la classificazione numerica è dipesa dalla seguente formula:

Numero di mesi in cui il Servizio Raccolta Porta a Porta è stato attivo/ Numeri di mesi dell'anno

In alcuni casi vi sono stati dati mancanti che sono stati trattati con tecniche di regressione lineare laddove possibile (es. se il dato mancante di un dato indicatore era riferito al 2015, ma si possedevano i dati inerenti il 2014 ed il 2016, si sono sommati i due valori e tale somma si è divisa per due). Laddove i dati fossero stati ritenuti incoerenti o non trattabili, si sono esclusi dall'analisi.

2.5 – Modelli sviluppati per le analisi delle variabili dipendenti – Deep learning

Al fine di comprendere quali possano essere le variabili che influenzino maggiormente le variabili dipendenti (produzione pro capite di RSU, la raccolta differenziata e le spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti) sono stati sviluppati dei modelli con un approccio di deep learning.

I dataset a disposizione sono stati prima randomizzati, poi successivamente si è provveduto a normalizzare le variabili indipendenti al fine di renderle in un'unica unità di misura paragonabile, attraverso la seguente formula (Patro et al. 2015):



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

$$X_n = (X_{nn} - \text{Min}(X)) / (\text{Max}(X) - \text{Min}(X))$$

Dove

X_n è il valore normalizzato che ciascuna variabile assume al record n

X_{nn} è il valore non normalizzato di ciascuna variabile al record n

$\text{Max}(X)$ è il valore massimo che è presente in ciascuna variabile

$\text{Min}(X)$ è il valore minimo che è presente in ciascuna variabile.

Se ad esempio per la variabile/indicatore % della popolazione di età > 65 anni, al record Comune di Bari del 2006, si ha il valore di 20 e all'interno del dataset, per tale variabile, il massimo valore riscontrato è 40 ed il minimo è 5, il valore normalizzato sarà pari a $(20-5)/(40-5) = 0,4285$.

Tutti i dataset randomizzati e normalizzati sono stati suddivisi in due parti. La prima parte contenente il 70% dei dati è stata utilizzata per "allenare" il sistema (fase di training), la seconda contenente il 30% dei dati è stata successivamente utilizzata per valutare la bontà del modello (fase di testing) (Xu Y., Goodacre R., 2018). Con la prima parte i modelli sviluppati adattano i loro algoritmi diventando sempre più precisi, sulla base di una serie di "epoche di apprendimento" definite da chi costruisce i modelli. La bontà dei modelli viene valutata andando a utilizzare il modello "allenato", sui dati di testing e confrontando tali valori predetti con quelli reali del testing. Due misure sono state utilizzate per valutarne la bontà, la RMSE (root-mean-square error o radice dell'errore quadratico medio) ed il MAE (Mean Absolute Error – Errore Medio Assoluto) (H. Shi, M. Xu, R. Li, 2018). Più sono bassi tali valori, più tali modelli sono performanti.

Essendo le variabili da predire (variabili dipendenti) tutte numeriche, i modelli sono stati predisposti per risolvere problemi di regressione.

Per sviluppare i modelli è stata utilizzata la funzione di attivazione più popolare, ReLU (Rectified Linear Unit) (Favorskaya, M. & Andreev, V., 2019 e Eckle K, 2019). Per ogni strato dei modelli è stato previsto un neurone di bias per rafforzarne l'efficacia..

Tutti i modelli realizzati sono stati sviluppati utilizzando il software R 3.6.3 ed in particolare il pacchetto "Keras". Per valutare quali variabili siano maggiormente importanti all'interno di ciascun modello, si è utilizzato il pacchetto "vip" (metodo permutation-based VI scores – Scholbeck C.A, 2020)

Sulle più importanti variabili del modello, sono state successivamente elaborate le curve ICE (Individual Conditional Expectation) che consentono di cogliere la relazione esistente tra una variabile e l'output del modello. Le curve ICE rappresentano i valori di Output risultanti dal modello, al variare, per ogni record del dataset, dei valori che la suddetta variabile può assumere (Alex Goldstein et al. 2015).

Essendo i valori di tutte le variabili normalizzati con la formula indicata precedentemente, ognuna di esse ha un valore minimo di 0 ed un valore massimo di 1. Riportando i valori minimi e massimi ai valori reali di tali variabili e considerando i corrispondenti valori medi di output delle curve ICE (linee rosse dei grafici) è stato



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

possibile determinare, per le variabili principali, il range di incremento o decremento medio dell'output, all'aumentare dell'unità di misura della variabile.

In tale calcolo è stato considerato il valore di errore del modello più elevato tra RMSE e MAE, seguendo la formula :

Valore massimo del range:

$$\text{Max} \left(X0 \pm (\text{Max}(\text{RMSE}; \text{MAE})) \right) - \left(X1 \pm (\text{Max}(\text{RMSE}; \text{MAE})) \right) / |Y0 - Y1|$$

Valore medio del range:

$$(X0 - X1) / |Y0 - Y1|$$

Valore minimo del range:

$$\text{Min} \left(X0 \pm (\text{Max}(\text{RMSE}; \text{MAE})) \right) - \left(X1 \pm (\text{Max}(\text{RMSE}; \text{MAE})) \right) / |Y0 - Y1|$$

Dove

X0 = Valore di output al valore 0 di input normalizzato

X1 = Valore di output al valore 1 di input normalizzato

Y0 = Valore 0 non normalizzato di input

Y1 = Valore 1 non normalizzato di input

Se ad esempio si confrontano i rifiuti prodotti pro capite (Kg) come variabile indipendente e la percentuale di raccolta differenziata come variabile di studio, supponendo che il valore minimo di produzione dei rifiuti riscontrabile nel dataset sia pari a 500 Kg ed il massimo a 700 Kg, essi saranno stati trasformati per la normalizzazione rispettivamente in valore di 0 e 1 e rappresentati nella curva ICE corrispondente. Ad ogni valore di 0 e 1 corrisponderà un valore di output predetto di raccolta differenziata (es. 20% al valore 0 e 30% al valore 1). Se supponiamo che i valori di errore di MAE e RMSE siano 2 e 3 Kg, è evidente che il valore maggiore tra i due sia il RMSE (3 kg). Di conseguenza la formula, ad esempio, del massimo valore di range sarà pari alla massima differenza tra i valori di output comprendenti l'errore più grande. Quindi $((30+2)-(20-2))/|500-700|$

Il software R 3.6.3 è stato utilizzato anche per le restanti analisi.

Su tutti i test di statistica inferenziale utilizzati, la presenza di un $p < 0,05$ indica una differenza statisticamente significativa tra gli oggetti di studio (Alpha di Cronbach, Correlogramma, Indice di correlazione di Pearson, Test di Shapiro Wilk per la verifica della normalità, Test di Kruskal Wallis, Test post hoc di Dunn)



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

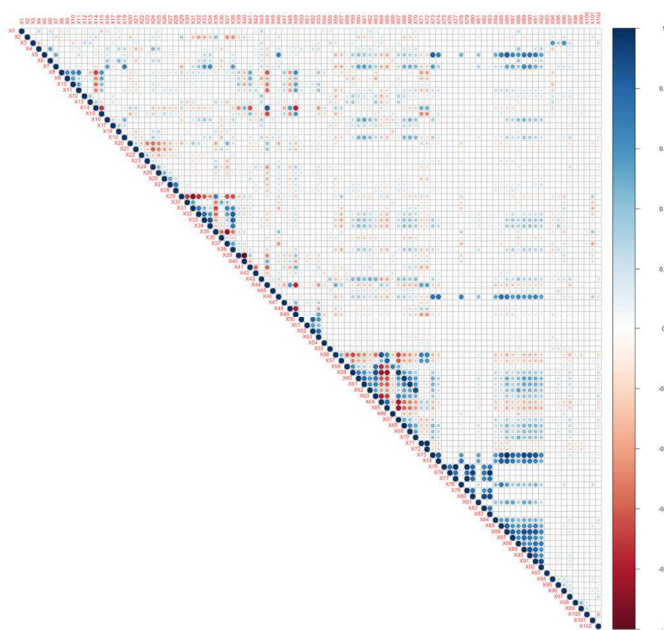
3 – Risultati

3.1 Correlogramma tra le variabili

Il primo studio effettuato ha riguardato in via preliminare la correlazione tra le variabili prese in coppia. La presenza di valori che si approssimano a 1 dell'indice di correlazione, hanno il significato di un andamento direttamente proporzionale delle variabili, al contrario la presenza di valori dell'indice che si approssimano a -1 significano un andamento inversamente proporzionale delle variabili. Il risultato ha portato all'elaborazione del correlogramma (Indice di Spearman) in Fig.4.

Questo studio ha consentito di "scremare" le correlazioni da analizzare sulle variabili oggetto di studio (X1 - Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti, X3 – percentuale di raccolta differenziata e X4 – Produzione per abitante annuo), andando a verificare se le correlazioni più elevate fossero statisticamente significative con il test di statistica inferenziale "Indice di correlazione di Pearson". Dal correlogramma si comprende che non esistono, preliminarmente, correlazioni forti tra le spese per la raccolta e smaltimento dei rifiuti e le altre variabili oggetto di studio. Esiste una correlazione direttamente proporzionale moderata e statisticamente significativa (Valore indice di correlazione di Pearson= 0,59, $p < 0,001$) tra l'andamento della percentuale di raccolta differenziata e l'attivazione del Servizio Porta a Porta (X94) . Risulta, inoltre, un'altra correlazione moderata direttamente proporzionale, in relazione all'andamento della percentuale di FORSU (X96 – Valore indice di correlazione di Pearson= 0,61, $p < 0,001$). In sostanza dove la percentuale della raccolta differenziata è molto alta, la frazione FORSU raccolta in maniera differenziata è alta. Per quel che riguarda invece la produzione di rifiuti pro capite, esiste una correlazione moderata verso una produzione più elevata nei Comuni costieri, rispetto a quelli interni (X6 – valore indice di correlazione di Pearson=0,54 $p < 0,001$).

Fig. 4 – correlogramma delle variabili prese in considerazione nello studio





**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

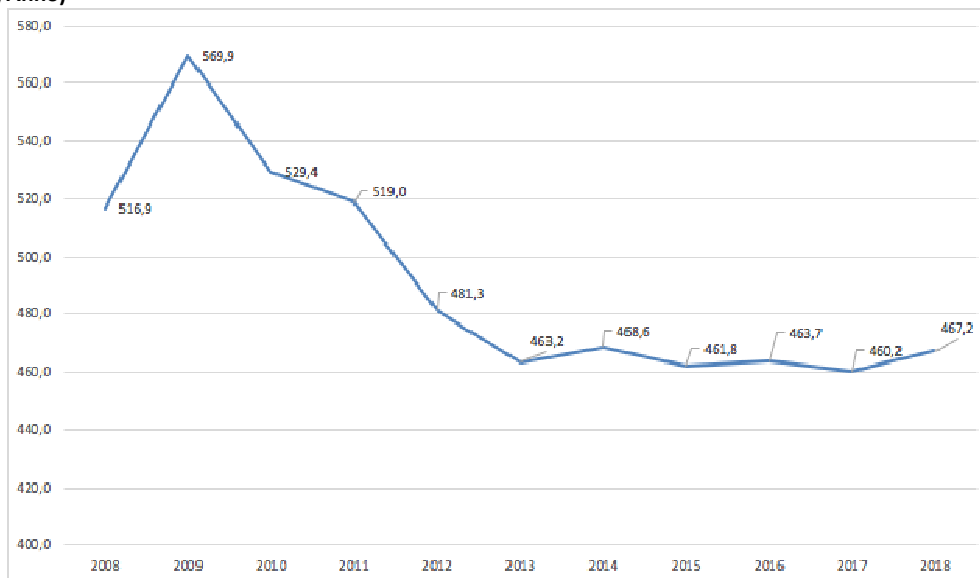
SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

3.1 – Produzione degli RSU pro capite abitanti e arrivi turistici per anno

Come visibile dal grafico in Fig. 5, la produzione pro capite dei rifiuti (Kg abitante+turisti anno) è in calo in Puglia. In particolare dal 2008 a 2018 essa è calata del 9,6%.

Se analizziamo la situazione dei singoli ARO negli anni 2016-2018 (Fig.6), si nota in primis come FG2, LE1 e TA5 sono gli ambiti con maggiore riduzione di rifiuti pro capite e che in questi anni l'andamento di tale produzione ha andamenti altalenanti a seconda dell'Ambito omogeneo.

Fig. 5 – andamento della produzione pro capite degli abitanti+arrivi turistici in Puglia dal 2008 al 2018 (Kg/Anno)



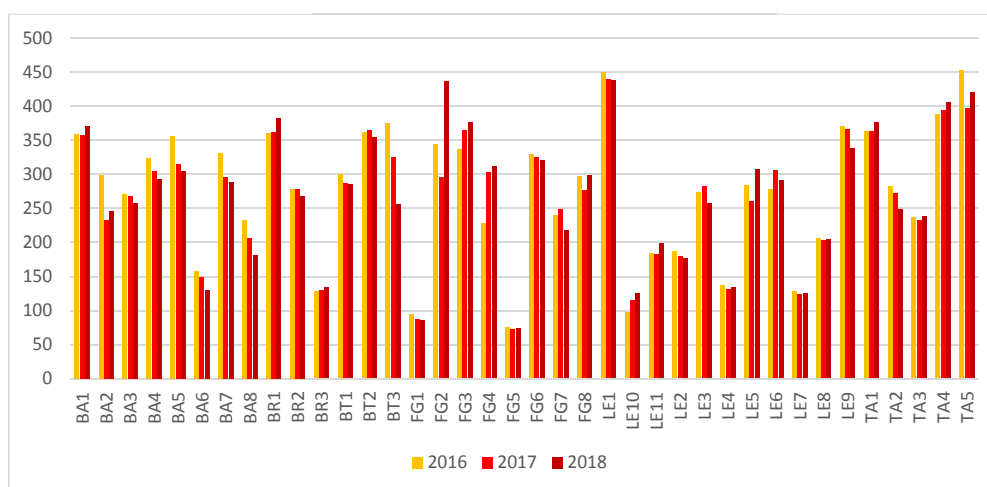


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 6 – andamento della produzione pro capite degli abitanti+arrivi turistici negli ambiti omogenei dal 2016 al 2018 (Kg/Anno)



Per quel che riguarda il modello predittivo sulla produzione dei rifiuti, come visto in tabella 1 si è partiti da un layer di input di 88 variabili (Input Layer della Fig.7) per predire l'unico "valore di output" - produzione dei rifiuti pro capite annua (Output Layer della Fig.7).

Il dataset con dati completi utilizzato per tale tipologia di analisi, comprendeva 2.730 record su 2.827 possibili (96,6% dei dati, ben al di sopra dei 2417 record necessari per avere un livello di confidenza del 99% ed un intervallo di confidenza del 1%²).

Dopo numerosi tentativi, il modello maggiormente performante ha previsto 3 strati nascosti di rispettivamente 60, 20 e 10 neuroni (rispettivamente prima, seconda e terza fila degli "HiddenLayer" della Fig.7)

²

L'intervallo di confidenza esprime il margine statistico d'errore. Ad esempio, in un campione il 47% ha risposto "sì" a una certa domanda. Con un intervallo di confidenza 4 (cioè del 4%) la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%). Il livello di confidenza esprime il grado di certezza del risultato. Continuando con l'esempio precedente, porre il livello di confidenza al 95% significa che col 95% di probabilità la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%).

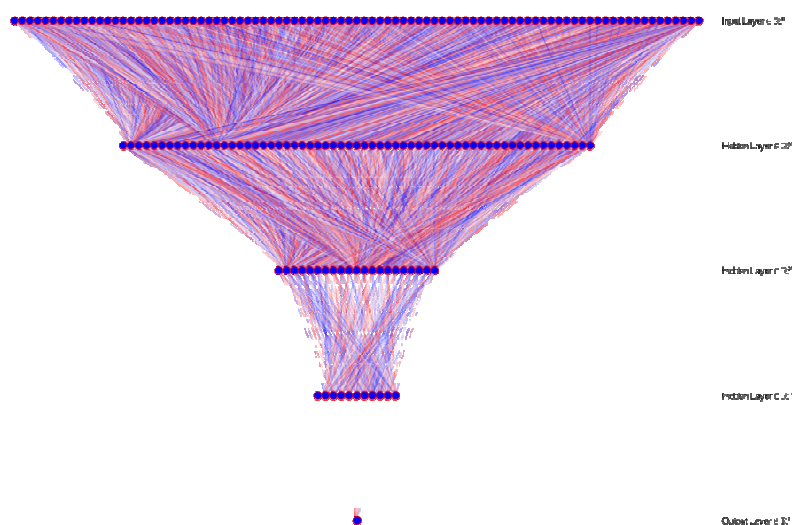


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

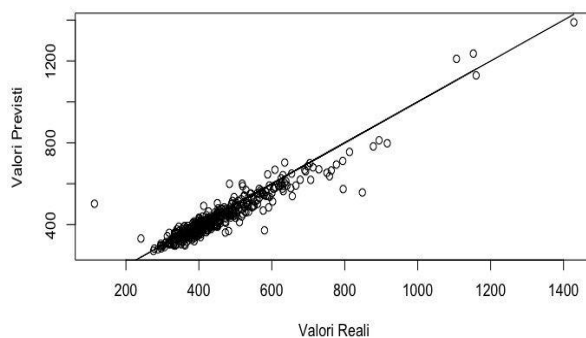
Fig.7 – Architettura del Modello di deeplearningutilizzato per lo studio della variabile Produzione pro capite di rifiuti



Per addestrare il modello sono state utilizzate 800 epoche di apprendimento.

Nella Fig. 8 viene riportato il risultato del confronto tra i valori reali della parte del dataset di testing (30% dei dati) e quelli previsti dal modello. Maggiore è l'approssimazione alla retta della figura, più vi è corrispondenza tra valore previsto dal modello e valore reale. Il modello è affidabile al 94,6% (correlazione tra i valori di predizione ed il valore reali di test), con errori di previsione che nelle due misure utilizzate riportano un MAE di 30,8 Kg e RMSE di 40,2 Kg.

Fig. 8– Fase di testing – confronto tra valori reali e valori previsti dal modello





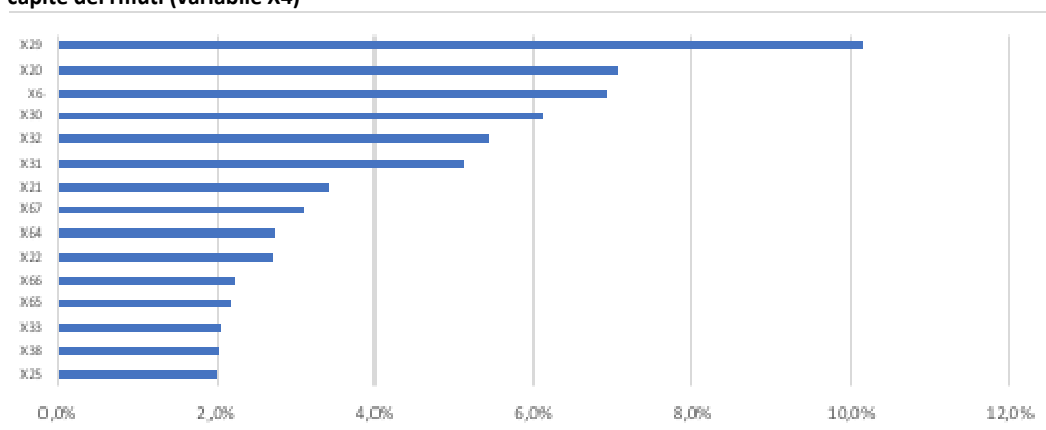
**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Nella Fig. 9 vengono riportate le variabili indipendenti in ordine di importanza rispetto all'oggetto di studio (codici variabili derivante dalla tabella 1). Dalla figura si riscontra che, le variabili più importanti che incidono sulla produzione dei rifiuti pro capite sono legate principalmente alle caratteristiche degli interni degli edifici residenziali (edifici con 1 interno - X29, 2 interni - X30, 5-8 interni - X32, 3-4 interni - X31, 9-15 interni - X33), all'epoca di costruzione degli edifici residenziali ed in particolare alle frequenze degli edifici residenziali più antichi (Edifici precedenti al 1918 - X20, Edifici costruiti tra il 1919 ed il 1945 - X21, Edifici costruiti tra il 1946 ed il 1960 - X22), alla tipologia di Comune (Costiero o Interno - X6) ed alla frequenza dei redditi dichiarati rispetto al totale dei redditi dichiarati, ed in particolare alle fasce di reddito più basse (fascia di reddito 26.000-55.000 euro - X67, 0-10.000 euro - X64, 15.000-26.000 euro - X66, 10.000-15.000 euro - X65).

Fig. 9 – Importanza delle prime 15 variabili indipendenti rispetto all'oggetto di studio – Produzione pro capite dei rifiuti (variabile X4)



Nella figura 10, le curve ICE indicano come variando i valori di ogni singola variabile per ogni singolo record, vari l'output di produzione dei rifiuti per abitante anno. La linea in rosso, indica l'andamento medio del valore dell'output produzione dei rifiuti abitante annuo (X4) al variare del valore delle 15 più influenti variabile indipendenti del modello.

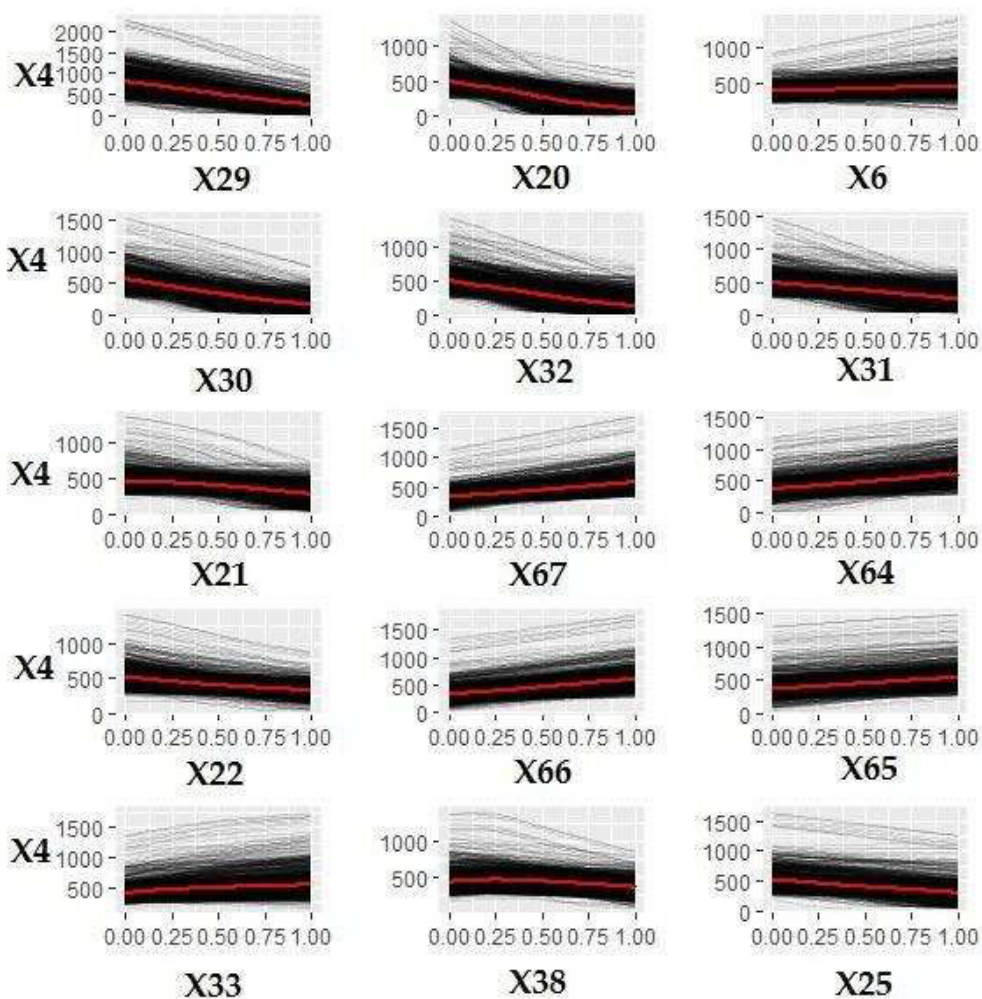


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 10 – Curve ICE delle 15 variabili che più incidono sul modello rispetto alla variabile produzione pro capite di rifiuti



La tabella 2 riporta il range del valore di incremento/decremento medio per unità di misura di ciascuna delle 15 variabili indicate nella figura 10, con il metodo di calcolo descritto nel paragrafo 2.5.



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Tab. 2 – incremento/decremento produzione di rifiuti abitante+arrivi turistici annui (Kg) per unità di misura di ciascuna delle 15 variabili in Fig.10

Cod. Var.	Nome Variabile	Unità di misura	Incremento/Decremento di produzione annua RSU massimo al variare di 1 unità di misura (Kg)	Incremento/Decremento medio di produzione annua RSU al variare di 1 unità di misura (Kg)	Incremento/Decremento minimo di produzione annua RSU al variare di 1 unità di misura (Kg)
X29	% edifici con 1 interno/ Tot. Edifici	%	-7,1	-6,2	-5,3
X20	% edifici anno di costruzione <1918/ Tot. Edifici	%	-6,0	-5,0	-4,0
X6	Tipo di Comune (Costiero/Interno)	Da comune Interno a Comune Costiero	+160,4	+80	-0,4
X30	% edifici con 2 interni/ Tot. Edifici	%	-6,3	-5,2	-4,2
X32	% edifici con 5-8 interni/ Tot. Edifici	%	-14,7	-12,1	-9,5
X31	% edifici con 3-4 interni/ Tot. Edifici	%	-8,1	-6,0	-3,9
X21	% edifici anno di costruzione 1919-1945/ Tot. Edifici	%	-6,8	-4,9	-2,9
X67	Reddito annuo 26.000-55.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	%	+9,1	+6,8	+4,7
X64	Reddito annuo 0-10.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	%	+9,3	+7,0	+4,7
X22	% edifici anno di costruzione 1946-1960/ Tot. Edifici	%	-5,8	-3,8%	-1,9
X66	Reddito annuo 15.000-26.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	%	+13,3	+10,5	+7,7
X65	Reddito annuo 10.000-15.000 euro - Ammontare / Reddito complessivo	%	+11,4	+7,8	+4,2
X33	% edifici con 9-15 interni/ Tot. Edifici	%	+9,3	+5,2	+1,0
X38	% edifici > 4 piani/Tot. Edifici	%	+4,2	+2,1	0
X25	% edifici anno di costruzione 1981-1990/ Tot. Edifici	%	-7,5	-5,7	-3,9

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

Se si analizzano in contemporanea la Fig. 10 e la tab.2 si nota **come l'andamento delle variabili riguardanti il numero di interni presenti negli edifici residenziali è inversamente proporzionale alla produzione dei rifiuti pro capite**. In particolare si nota come la variabile che incide maggiormente sulla produzione dei rifiuti secondo il modello elaborato, X29 – % degli edifici residenziali con 1 interno, abbia un andamento della curva ICE abbastanza accentuato e lineare verso il basso. Se tutti i Comuni avessero una percentuale di tale tipologia degli edifici pari al minimo presente nel dataset (11,2% del totale degli edifici), la produzione dei rifiuti pro capite media sarebbe quasi doppia rispetto all'attuale (800 kg per abitante+arrivi turistici pro capite anno). Ad ogni aumento di punto percentuale di tali edifici, la produzione pro capite di rifiuti si riduce di un range medio che va dai 7,1 Kg ai 5,3 Kg.

Unica eccezione in tale ambito, riguarda gli edifici con maggiori interni (9-15). In questo caso il trend è direttamente proporzionale. All'aumentare di un punto percentuale di tali edifici si ha un incremento di produzione dei rifiuti medio con un range che va da +9,3 kg a 1 Kg.

Dove le percentuali degli edifici molto datati (Variabile X20, X21, X22) è molto elevata, si ha una minore produzione di rifiuti.

Se tutti i Comuni presenti in Puglia, per assurdo, fossero costieri (variabile X6) si avrebbe una produzione pro capite maggiore rispetto a se fossero tutti Comuni Interni. In media la variabile incide per circa 80 Kg (con un range che va da -0,4 kg a 160,4 kg).

Gli aspetti reddituali della popolazione incidono sulla produzione dei rifiuti. In particolare sono le classi di reddito basse e medie ad incidere su tale produzione. L'aumentare delle percentuali di tali classi porta in proiezione ad un aumento della produzione di rifiuti pro capite.

3.2 – Percentuale di raccolta differenziata

La Fig. 11 riporta l'andamento della percentuale di raccolta differenziata in Puglia dal 2008 al 2019. Come evidente tale percentuale si è quadruplicata nei dodici anni del grafico, ma non raggiunge il tetto del 65% di raccolta differenziata previsto dal D.lgs. 152/2006. Se analizziamo la situazione degli anni 2017-2019 di ciascun ARO, solo 10 su 38 hanno raggiunto la percentuale del 65% (Fig.13).

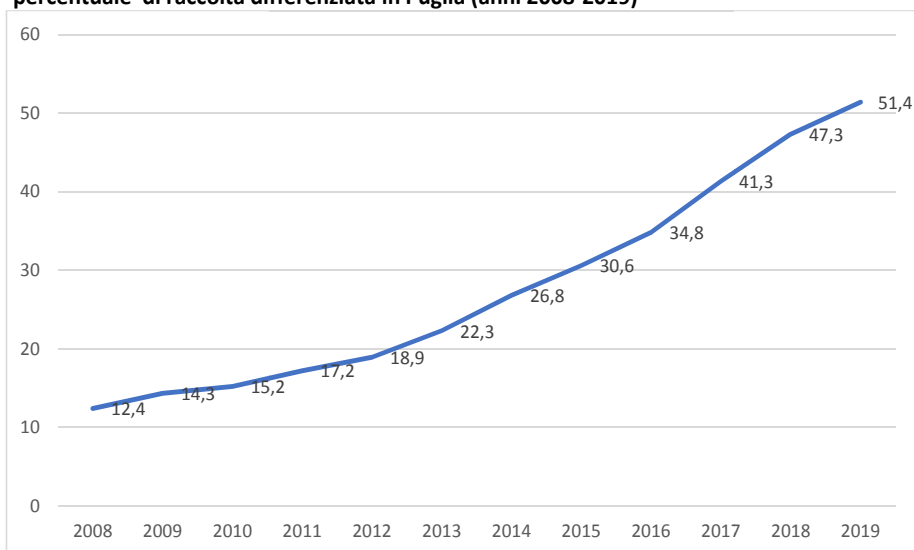


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

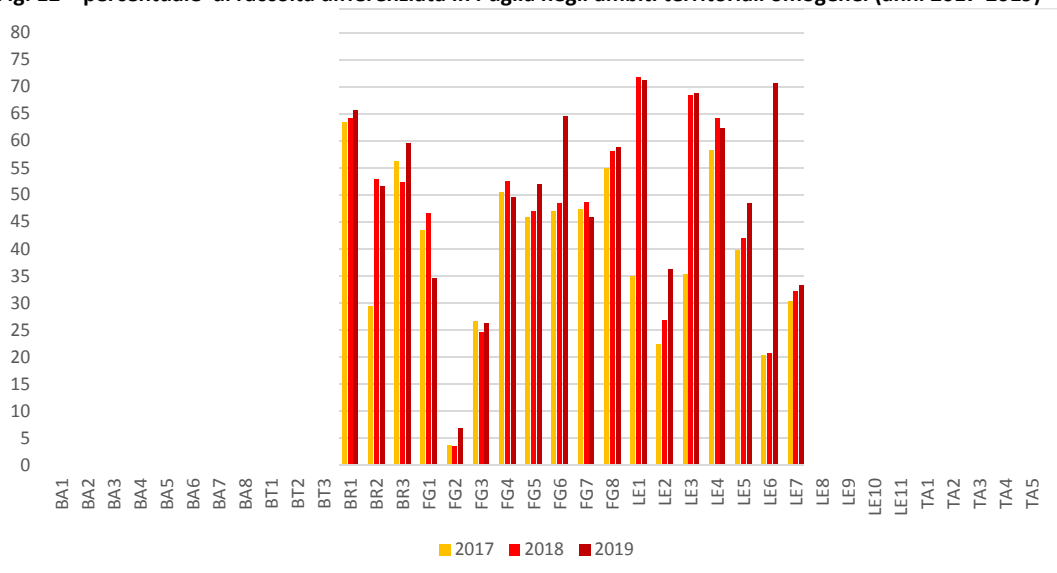
SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 11 – percentuale di raccolta differenziata in Puglia (anni 2008-2019)*



* In tale grafico, è presente il dato del 2019, escluso dall'analisi del modello di Deep Learning per mancanza di informazioni aggiornate su molte delle variabili considerate nello studio.

Fig. 12 – percentuale di raccolta differenziata in Puglia negli ambiti territoriali omogenei (anni 2017-2019)*



* In tale grafico, è presente il dato del 2019, escluso dall'analisi del modello di Deep Learning per mancanza di informazioni aggiornate su molte delle variabili considerate nello studio.



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

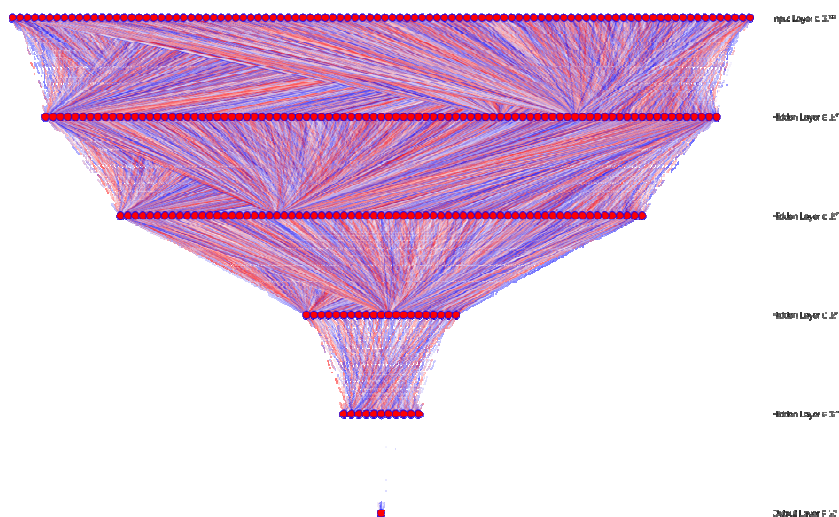
SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Per quel che riguarda il modello predittivo sulla percentuale di raccolta differenziata, come visto in tabella 1, si è partiti da un layer di input di 99 variabili (Input Layer della Fig.13) per predire l'unico "valore di output" – percentuale di raccolta differenziata (Output Layer della Fig.13).

Il dataset con dati completi utilizzato per tale tipologia di analisi comprendeva 2.623 record su 2.827 possibili (92,8% dei dati, ben al di sopra dei 2417 record necessari per avere un livello di confidenza del 99% ed un intervallo di confidenza del 1%³).

Dopo numerosi tentativi, il modello maggiormente performante ha previsto 4 strati nascosti di rispettivamente 90, 70, 20 e 10 neuroni (rispettivamente prima, seconda, terza e quarta fila degli "HiddenLayer" della Fig.13)

Fig.13 – Architettura del Modello di Deep Learning utilizzato per la studio della variabile Percentuale della raccolta differenziata



Per addestrare il modello sono state utilizzate 100 epoche di apprendimento.

Nella Fig. 14 viene riportato il risultato del confronto tra i valori reali della parte del dataset di testing (30% dei dati) e quelli previsti dal modello. Maggiore è l'approssimazione alla retta della figura, più vi è corrispondenza tra valore previsto dal modello e valore reale. Il modello è affidabile al 94,8% (correlazione tra i valori di predizione ed il valore reali di test), con errori di previsione che nelle due misure utilizzate riportano un MAE di 2,9 % e RMSE di 3,9 %.

³

L'intervallo di confidenza esprime il margine statistico d'errore. Ad esempio, in un campione il 47% ha risposto "sì" a una certa domanda. Con un intervallo di confidenza 4 (cioè del 4%) la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%). Il livello di confidenza esprime il grado di certezza del risultato. Continuando con l'esempio precedente, porre il livello di confidenza al 95% significa che col 95% di probabilità la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%).

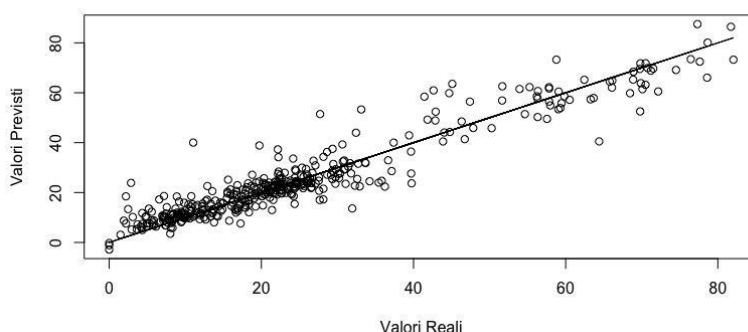


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

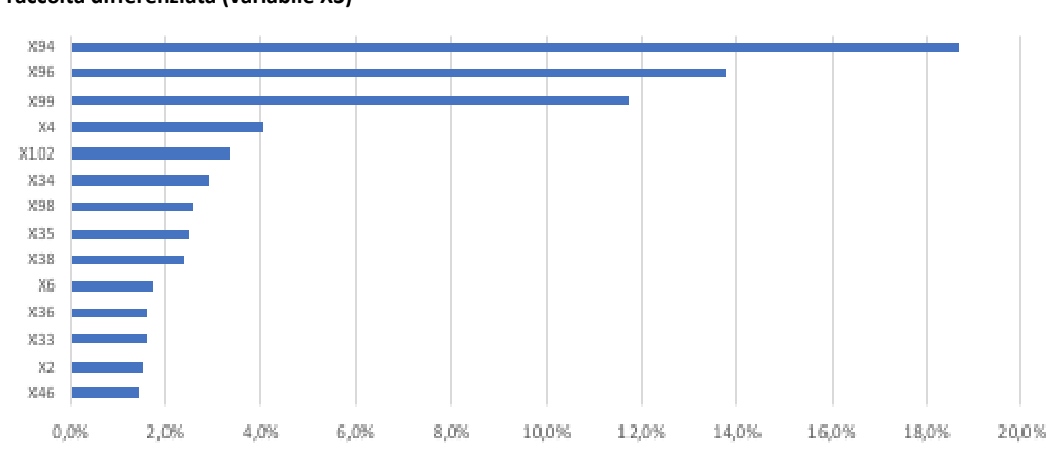
SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 14– Fase di testing – confronto tra valori reali e valori previsti dal modello



Nella Fig. 15 vengono riportate le variabili indipendenti in ordine di importanza rispetto all’oggetto di studio (codici variabili derivante dalla tabella 1). Dalla figura si riscontra che le variabili più importanti, che incidono sulla percentuale di raccolta differenziata, sono la raccolta porta a porta (X94) ed ovviamente le principali frazioni merceologiche raccolte: nell’ordine FORSU, carta e cartone, multimateriale, vetro, plastica (X96-X99-X102-X100). Anche la produzione dei rifiuti pro capite incide sulla percentuale di raccolta differenziata (X4). Tra le variabili maggiormente importanti e “meno scontate” vi sono alcune caratteristiche infrastrutturali degli edifici residenziali come le strutture con maggiori interni (> 16 interni – X34 e tra 9 e 15 interni – X33) o gli edifici residenziali a 1 piano (X35) e a 4 piani (X38). I Centri Comunali di Raccolta (X95) e la loro percentuale di rifiuti trattati rispetto al totale della raccolta differenziata rivestono un ruolo importante di influenza sulla raccolta differenziata.

Fig. 15 – Importanza delle prime 15 variabili indipendenti rispetto all’oggetto di studio – Percentuale di raccolta differenziata (variabile X3)





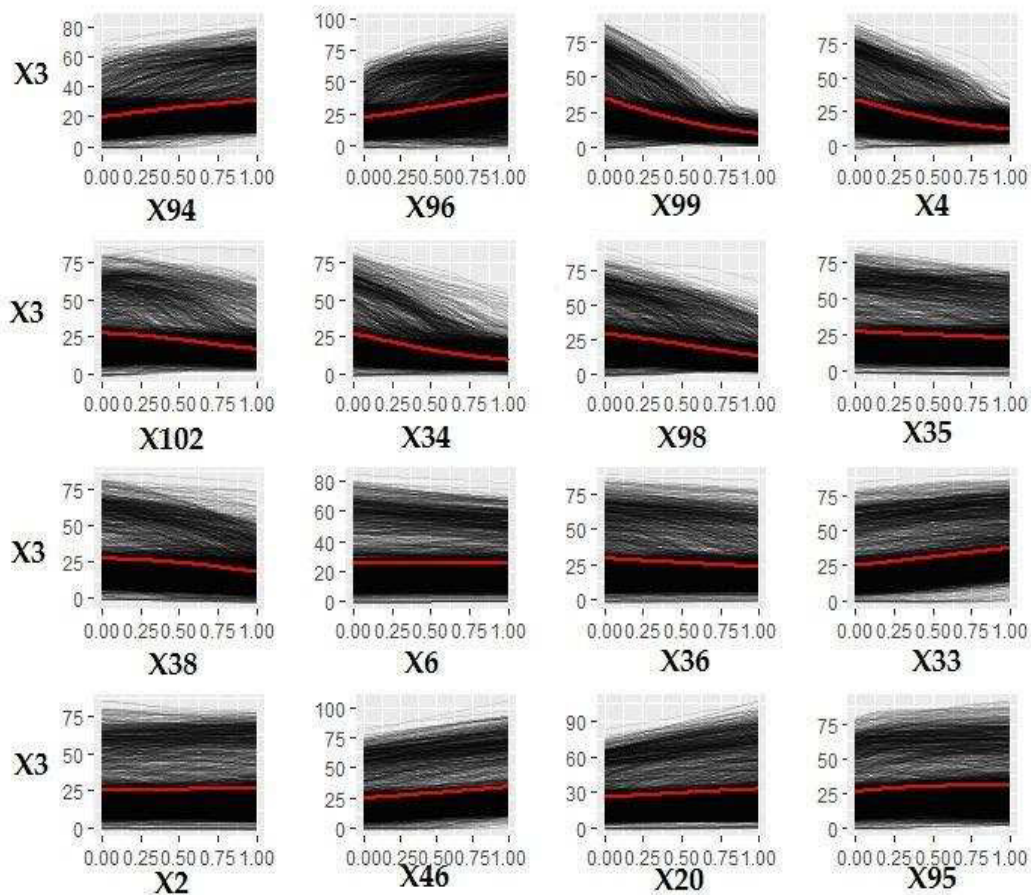
**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Nella figura 16 le curve ICE indicano come variando i valori di ogni singola variabile per ogni singolo record, vari l'output "Percentuale di raccolta differenziata". La linea in rosso, indica l'andamento medio del valore dell'output "Percentuale di raccolta differenziata" (X3) al variare del valore delle 15 più influenti variabile indipendenti del modello.

Fig. 16 – Curve ICE delle 15 variabili che più incidono sul modello e della variabile Centro Comunale di Raccolta (X95) rispetto alla variabile Percentuale di raccolta differenziata (X3)



La tabella 3 riporta il range del valore di incremento/decremento medio per unità di misura di ciascuna delle 15 variabili indicate nella figura 16, con il metodo di calcolo descritto nel paragrafo 2.5 ad esclusione della variabile X2 (Ambito Territoriale Omogeneo), dove tale analisi non può aver significato.



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Tab. 3 – incremento/decremento percentuale di raccolta differenziata per unità di misura delle principali variabili che incidono su di essa(Fig.16)

Cod. Var.	Nome Variabile	Unità di misura	Incremento/Decremento di raccolta differenziata massima al variare di 1 unità di misura	Incremento/Decremento di raccolta differenziata media al variare di 1 unità di misura	Incremento/Decremento di raccolta differenziata minima al variare di 1 unità di misura
X94	Attivazione Servizio Porta a Porta	0=No 1= si, tutto l'anno	+3,2%	+11%	+18,8%
X96	% Forsu differenziata/ totale rifiuti differenziati	%	+0,16%	+0,08%	+0,002%
X99	% Carta e Cartone / totale rifiuti differenziati	%	-0,33%	-0,25%	-0,17%
X4	Produzione pro capite di rifiuti abitanti+arrivi turistici anno	Kg	-0,022%	-0,016%	-0,011%
X102	% Multimateriale / totale rifiuti differenziati	%	-0,26%	-0,14%	-0,03%
X34	% edifici >16 interni/ Tot. Edifici	%	-1,2%	-0,83%	-0,46%
X98	% Vetro / totale rifiuti differenziati	%	-0,29%	-0,20%	-0,11%
X35	% edifici con 1 piano/Tot. Edifici	%	+0,05	-0,05%	-0,15%
X38	% edifici > 4 piani/Tot. Edifici	%	-0,43%	-0,22%	-0,02%
X6	Tipo di Comune (Costiero/Interno)	Da comune Interno a Comune Costiero	+5,8	-2,0%	-9,8%
X36	% edifici con 2 piani/Tot. Edifici	%	+0,08%	-0,08%	-0,23%
X33	% edifici con 9-15 interni/Tot. Edifici	%	+1,05%	+0,64%	+0,24%
X46	% Consumo di suolo/ Estensione territoriale	%	+0,39%	+0,20%	0
X20	% edifici anno di costruzione <1918/ Tot. Edifici	%	+0,19%	+0,09%	0
X95	% di rifiuti trattati nei CCR/Totale rifiuti differenziati	%	+0,18%	+0,1	+0,02%

Se si analizzano in contemporanea la Fig. 16 e la tab.3 si nota in primis, come **la raccolta porta a porta**, se attivata, comporta un incremento di raccolta differenziata tra il 3,2% ed il 18,8%, con una media dell'11%. Più è elevata la percentuale di raccolta differenziata, **maggiore è il peso della frazione merceologica FORSU rispetto alle altre frazioni**, le quali tendono a diminuire in proporzione (Carta e Cartone, Multimateriale, Vetro). **La produzione pro capite dei rifiuti incide in maniera inversamente proporzionale sulla percentuale di raccolta differenziata**. Al diminuire di ogni Kg di produzione di rifiuti si ha un incremento percentuale della raccolta differenziata di un range che va dallo 0,011% allo 0,022%. **La raccolta differenziata tende a diminuire con l'incremento delle dimensioni degli edifici residenziali** (maggiori di 16 interni e maggiori di 4 piani). I



**REGIONE
PUGLIA**

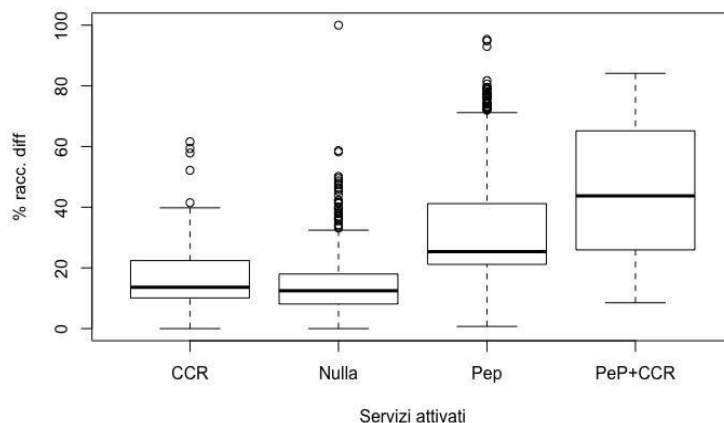
**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Centri Comunali di Raccolta hanno un'influenza sulla raccolta differenziata che può variare dal +2,2% al +17,8%, passando dalla non presenza del Centro, al trattamento del 100% dei rifiuti differenziati, con una media del 10%. Per ogni % di rifiuto differenziato trattato dai CCR vi è, in sostanza, un incremento di raccolta differenziata che va dal +0,02% al +0,18%.

La conferma delle proiezioni del modello deriva dal confronto tra i dati di raccolta differenziata tra i Comuni che effettuano la raccolta porta a porta e sono dotati di CCR, oppure effettuano solo il Porta a Porta, oppure sono dotati solo di CCR o in nessuno dei due casi. La distribuzione della percentuale di raccolta differenziata del dataset a disposizione è risultata non normale (test di Shapiro Wilk per la verifica della normalità $W = 0.87552$, $p\text{-value} < 0,0001$) per cui si è utilizzato per il confronto il test di Kruskal Wallis (Kruskal-Wallis chi-squared = 1250.7, $df = 3$, $p\text{-value} < 0,0001$). Tale test ha messo in evidenza una differenza tra le mediane delle percentuali di raccolta differenziata dei gruppi. Il test post hoc di Dunn ha evidenziato come su tutti i gruppi, nel confronto a due a due, ci siano differenze statisticamente significative (tutti i $p\text{-value} < 0,0001$ ad esclusione del confronto CCR e Nulla – $p\text{-value} = 0,004$). E' evidente, quindi, anche dalla figura 17, che nei Comuni dove vi è il porta a porta o il CCR ed ancora di più in combinazione tra loro, la percentuale di raccolta differenziata è più elevata.

Fig.17– Boxplot della raccolta differenziata per Servizi porta a porta e/o CCR attivati



3.2.1 Simulazione sul modello di raccolta differenziata andando a variare i parametri di raccolta porta a porta e CCR

Utilizzando il modello sulla percentuale di raccolta differenziata, è stato possibile fare un'analisi di simulazione partendo dai dati 2018 ed andando a variare il parametro raccolta porta a porta e la percentuale di rifiuti differenziati raccolti nei CCR (incrementando di 10% alla volta rispetto alla situazione 2018). La simulazione è stata effettuata su 232 Comuni dei 257 pugliesi (90,3%) di cui si possedevano informazioni complete. Al 2018 di questi 232 Comuni solo 10 non avevano attivato la Raccolta Porta a Porta. Il 49,1% dei Comuni (114/232) avevano un CCR al servizio del proprio territorio. In media il 4,8% dei rifiuti differenziati pugliesi sono passati, nel 2018, dai CCR. In 22 Comuni su 232 (9,5%), nel 2018 tutti i rifiuti differenziati sono stati trattati dai CCR.



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Come evidente dalla Fig. 18, laddove tutti i Comuni avessero porta a porta e CCR al proprio servizio e tutti i rifiuti differenziati passassero dai CCR, la percentuale di Raccolta differenziata nello scenario migliore si attesterebbe sopra il 65 % (+18%), mentre nel peggiore ci sarebbe un incremento solo del 5,4%.

Da tale simulazione deriva, come rappresentato in Fig. 19, come il Porta a Porta in tutti i Comuni e 100% dei rifiuti conferiti nei CCR condurrebbero ad una riduzione dei rifiuti conferiti in discarica in Puglia dai 40 ai 320 milioni di Kg.

Fig. 18– Simulazione della variazione della percentuale di raccolta differenziata variando i parametri Porta a Porta e CCR e partendo dal 2018

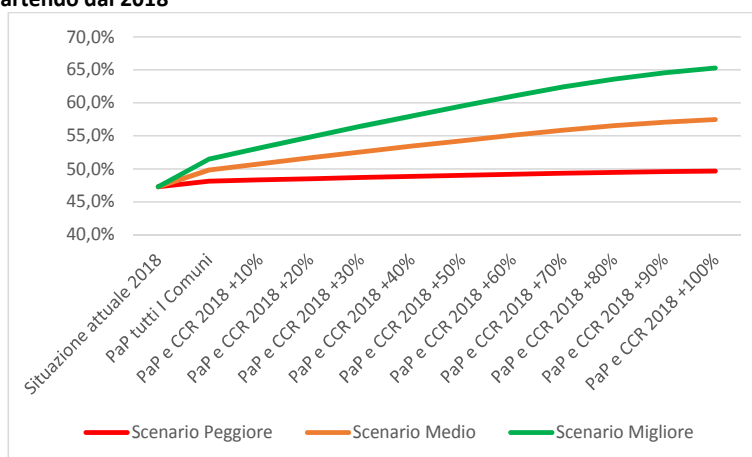
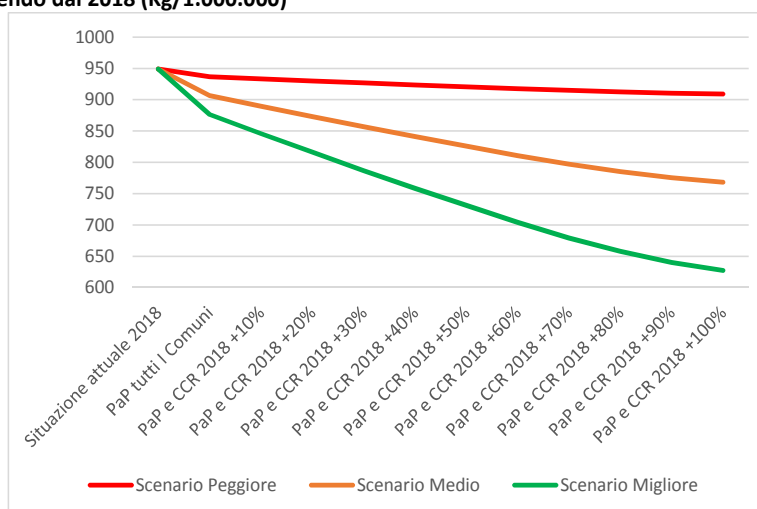


Fig.19 – Simulazione della variazione dei rifiuti portati in discarica variando i parametri Porta a Porta e CCR e partendo dal 2018 (Kg/1.000.000)





**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

3.3 - Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti

In Puglia nel 2018 sono stati spesi dai Comuni 716.744.600 Euro. Come evidente dalla Fig. 20 le spese in tale ambito sono in costante crescita. Dal 2008 tali spese sono cresciute del 39,7%. La maggior parte delle spese in tal ambito (oltre il 97%) sono spese correnti ed in particolare spese per l'acquisto di beni e servizi (Fig.21).

Fig. 20 - Andamento delle spese correnti, in conto capitale e totale per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti per abitante dal 2008 al 2018 in Puglia

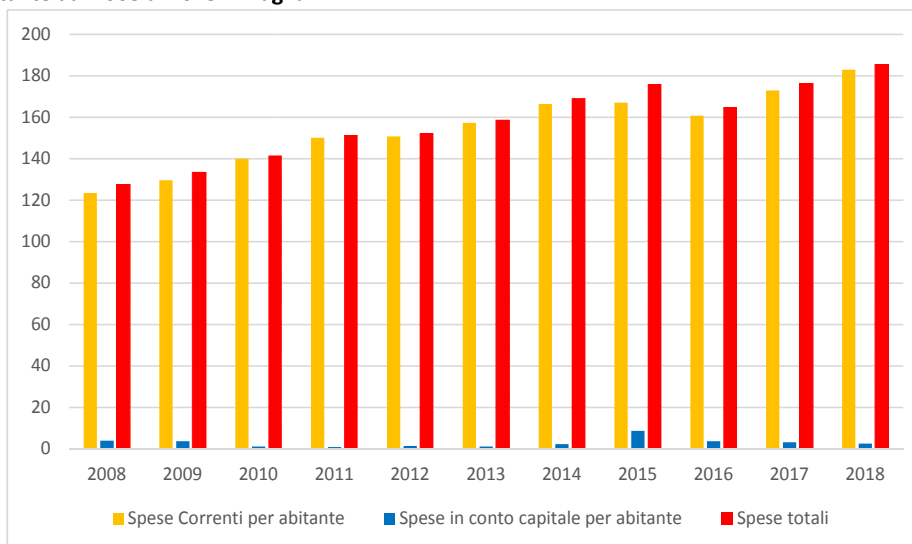
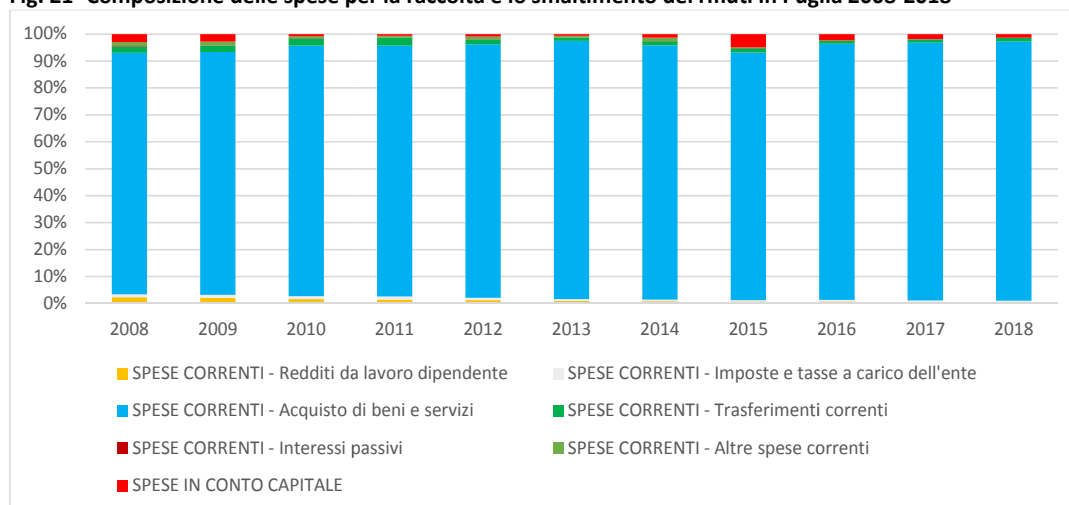


Fig. 21 - Composizione delle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti in Puglia 2008-2018





**REGIONE
PUGLIA**

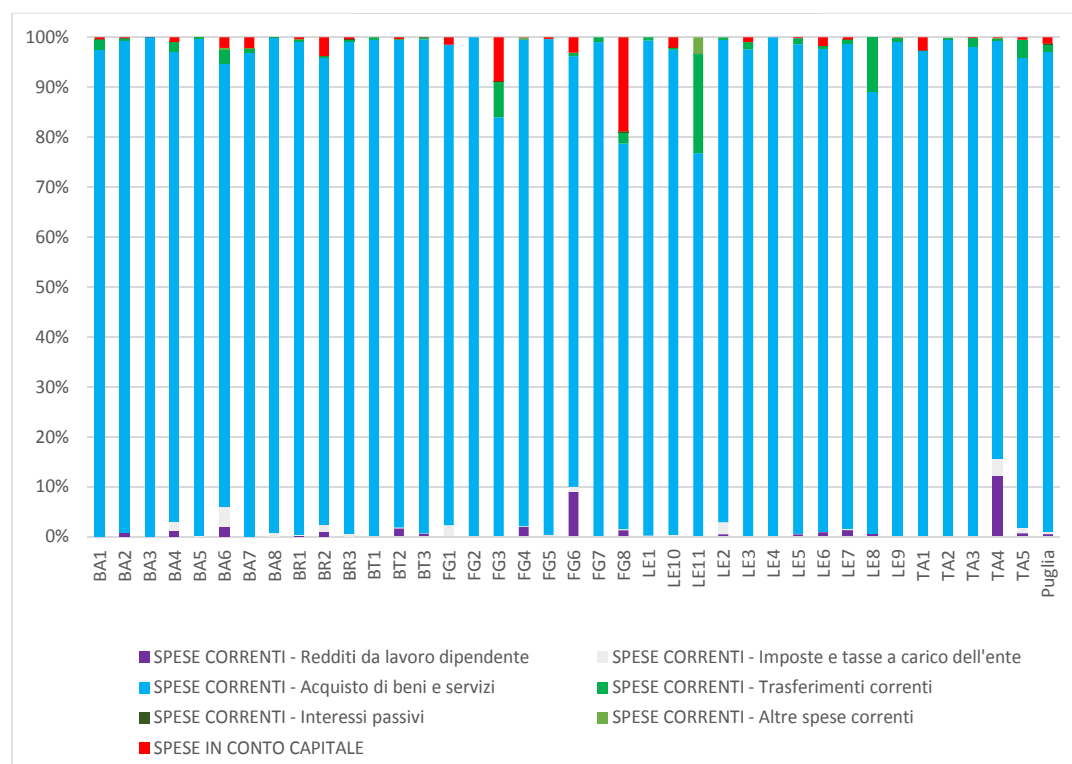
**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Negli AROnel 2018, se si esclude il FG 8 dove quasi il 20% delle spese realizzate erano in conto capitale e LE 11, dove il 20% circa sono stati trasferimenti correnti, in linea di massima si segue l'andamento della composizione regionale (Fig.22).

Nella Fig. 23 si comprende come le spese pro capite su questo settore siano maggiormente elevate negli ambiti BR2, LE4, TA1

Fig.22 - Composizione delle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti 2018 – Ambiti Territoriali Omogenei



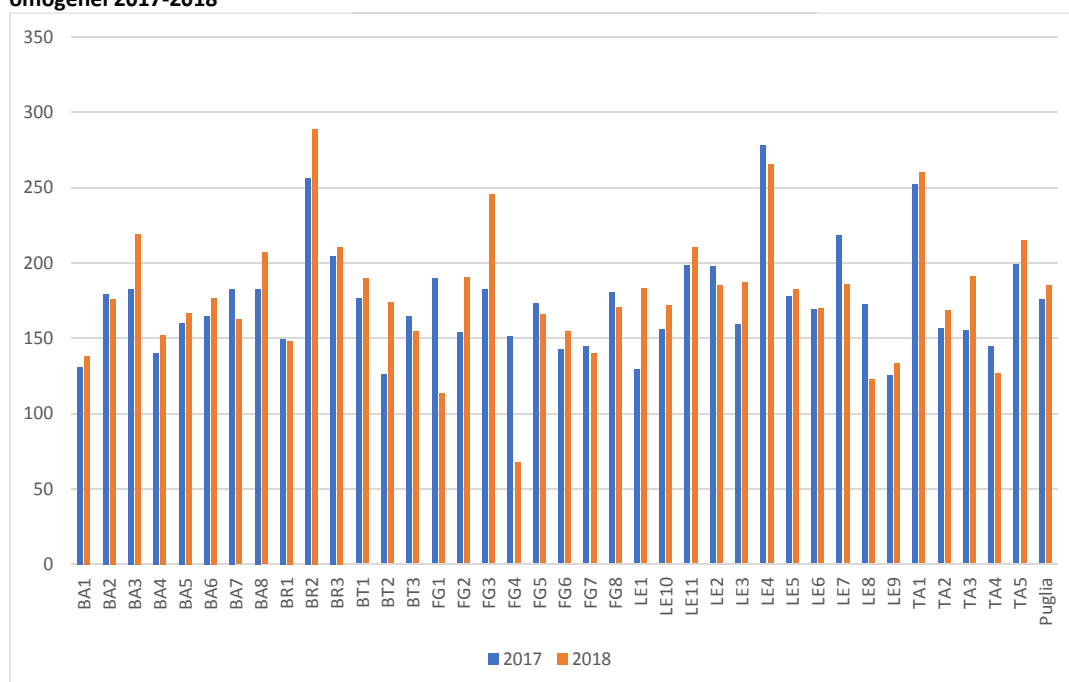


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 23 Andamento delle spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti negli ambiti territoriali omogenei 2017-2018



Per quel che riguarda il modello predittivo sulla spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti, come visto in tabella 1 si è partiti da un layer di input di 101 variabili (Input Layer della Fig.24) per predire l'unico "valore di output" – spesa pro capite rifiuti (Output Layer della Fig.24).

Il dataset con dati completi, utilizzato per tale tipologia di analisi, comprendeva 2.618 record su 2.827 possibili (92,6% dei dati ben al di sopra dei 2.417 record necessari per avere un livello di confidenza del 99% ed un intervallo di confidenza del'1%⁴).

Dopo numerosi tentativi, il modello maggiormente performante ha previsto 3 strati nascosti rispettivamente di 80, 40, 20 (rispettivamente prima, seconda, e terza fila degli "HiddenLayer" della Fig.24)

⁴

L'intervallo di confidenza esprime il margine statistico d'errore. Ad esempio, in un campione il 47% ha risposto "sì" a una certa domanda. Con un intervallo di confidenza 4 (cioè del 4%) la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%). Il livello di confidenza esprime il grado di certezza del risultato. Continuando con l'esempio precedente, porre il livello di confidenza al 95% significa che col 95% di probabilità la percentuale di persone che risponderebbero "sì", nell'eventualità di un'intervista a tappeto a tutta la popolazione, sarebbe compresa fra il 43% (47%-4%) e il 51% (47%+4%).

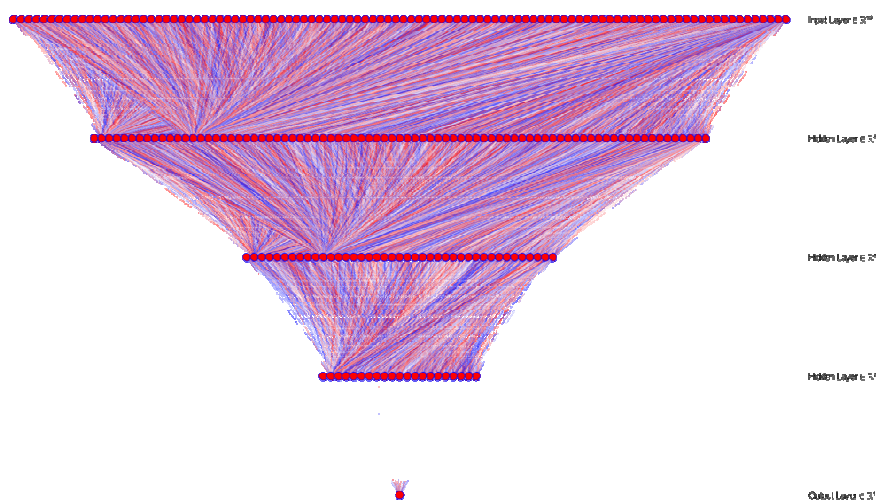


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

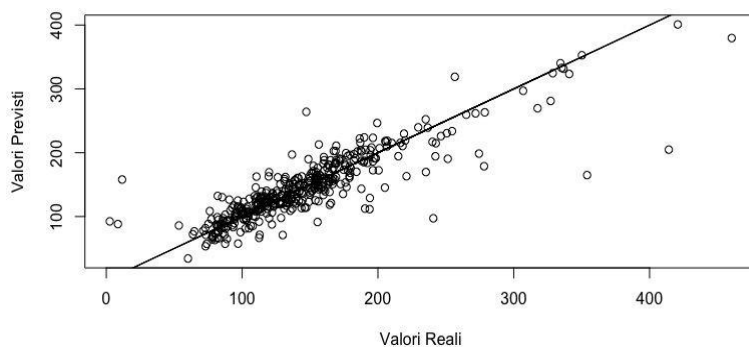
SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig.24 – Architettura del Modello di deeplearning utilizzato per la studio della variabile Spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti



Per addestrare il modello sono state utilizzate 200 epoche di apprendimento. Nella Fig. 25 viene riportato il risultato del confronto tra i valori reali della parte del dataset di testing (30% dei dati) e quelli previsti dal modello. Maggiore è l'approssimazione alla retta della figura, più vi è corrispondenza tra valore previsto dal modello e valore reale. Il modello è affidabile al 86,2% (correlazione tra i valori di predizione ed il valore reali di test), con errori di previsione che nelle due misure utilizzate riportano un MAE di 24,2 Euro e RMSE di 32,1 Euro

Fig. 25– Fase di testing – confronto tra valori reali e valori previsti dal modello





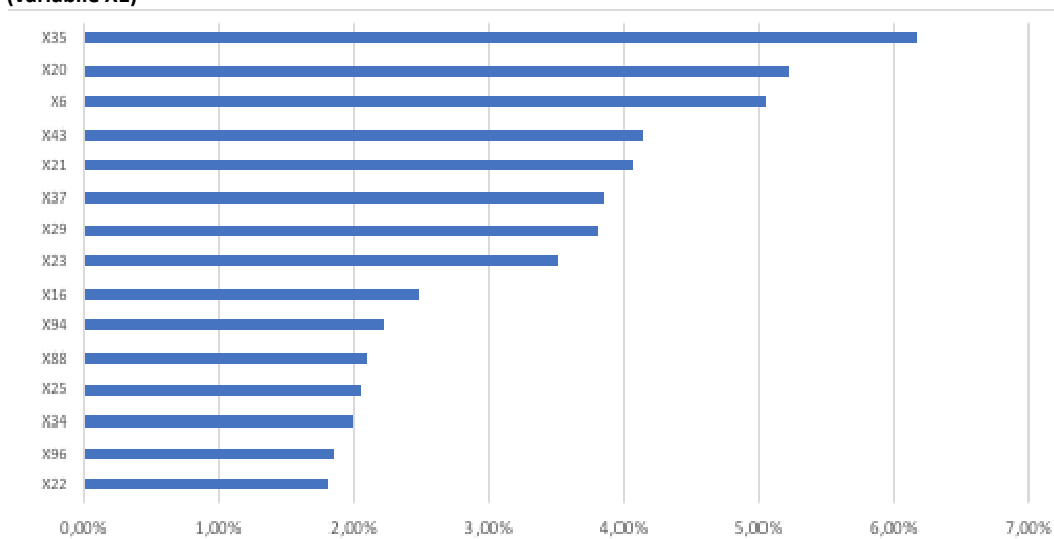
**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Nella Fig. 26 vengono riportate le variabili indipendenti in ordine di importanza rispetto all'oggetto di studio (codici variabili derivante dalla tabella 1). Dalla figura si riscontra che, molte delle variabili più importanti che incidono sulla spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti sono collegate con le caratteristiche degli edifici residenziali presenti nei Comuni (X35 – edifici residenziali ad 1 piano, X20 - Edifici di epoca precedente al 1918, X21 - Edifici di epoca compresa tra il 1919 ed il 1945, X37– edifici residenziali a 3 piani, X29– edifici residenziali con 1 interno, X23 - Edifici di epoca compresa tra il 1961 ed il 1970). Tra le prime 10 variabili ci sono anche il tipo di comune (Costiero o Interno – X6), la raccolta porta a porta (X94), e gli arrivi turistici (X16). Sembra esserci anche una possibile influenza della popolazione divorziata. Tra le frazioni merceologiche raccolte quella della FORSU sembra incidere maggiormente (X96).

Fig. 26– Importanza delle prime 50 variabili indipendenti rispetto all'oggetto di studio – spese rifiuti (variabile X1)



Nella figura 27 le curve ICE indicano come variando i valori di ogni singola variabile per ogni singolo record, vari l'output "Spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti". La linea in rosso indica l'andamento medio del valore dell'output "Spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti" (X1) al variare del valore delle 15 più influenti variabili indipendenti del modello.

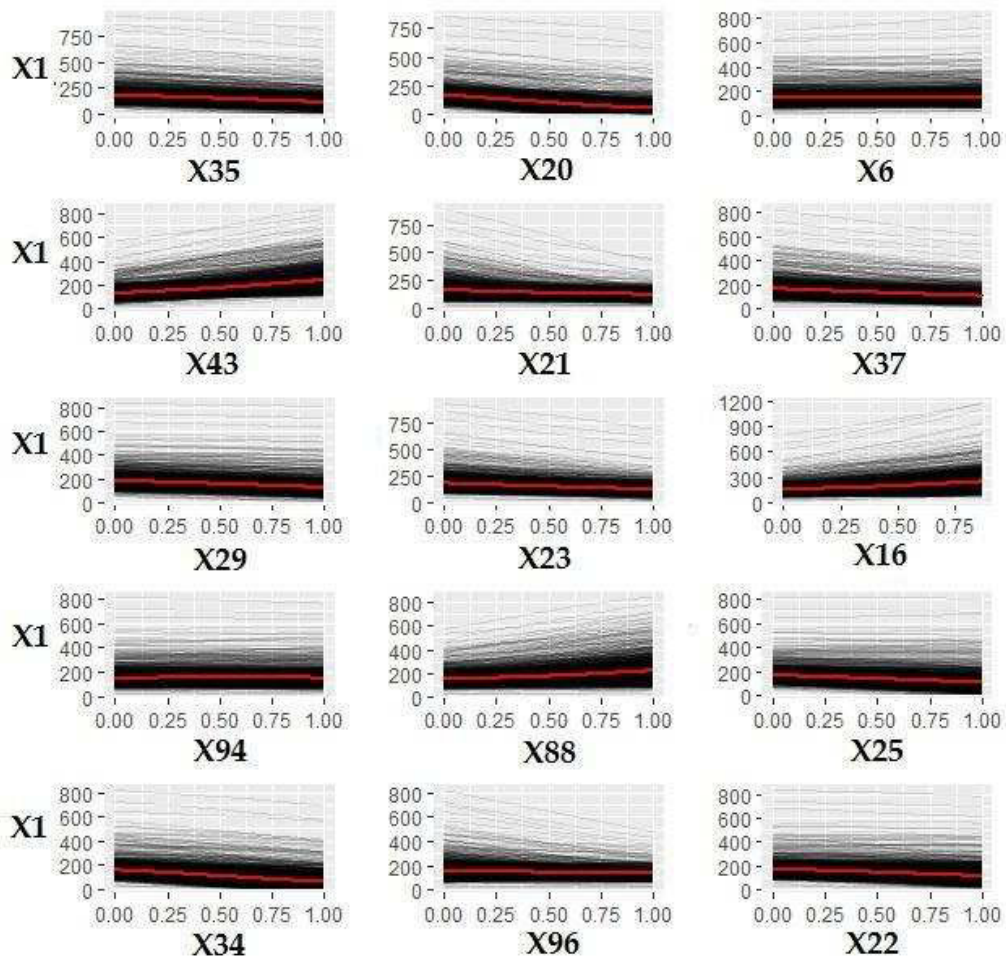


**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Fig. 27– Curve ICE delle 15 variabili che più incidono sul modello rispetto alla variabile Spesa pro capite per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (X1)



La tabella 4 riporta il range del valore di incremento/decremento medio per unità di misura di ciascuna delle 15 variabili indicate nella figura 27, con il metodo di calcolo descritto nel paragrafo 2.5



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Tab. 4 – incremento/decremento spese pro capite per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti (X1 - Euro) per unità di misura delle principali variabili che incidono su di essa (Fig.29)

Cod. Var.	Nome Variabile	Unità di misura	Incremento/Decremento massimo di spesa pro capite (Euro) al variare di 1 unità di misura	Incremento/Decremento medio di spesa pro capite (Euro) al variare di 1 unità di misura	Incremento/Decremento minimo di spesa pro capite (Euro) al variare di 1 unità di misura
X35	% edifici con 1 piano/Tot. Edifici	%	-1,72 Euro	- 0,87 Euro	-0,02 Euro
X20	% edifici anno di costruzione <1918/ Tot. Edifici	%	-2,24 Euro	-1,43 Euro	-0,64 Euro
X6	Tipo di Comune (Costiero/Interno)	Da comune Interno a Comune Costiero	+74,2 Euro	+10,0 Euro	-54,2 Euro
X43	% popolazione divorziata/Tot. Abitanti	%	+44,52 Euro	+27,6 Euro	+10,73 Euro
X21	% edifici anno di costruzione 1919-1945/ Tot. Edifici	%	-2,39 Euro	-0,84 Euro	+0,70 Euro
X37	% edifici con 3 piani/Tot. Edifici	%	-2,60 Euro	-1,31 Euro	-0,01 Euro
X29	% edifici con 1 interno/ Tot. Edifici	%	-1,40 Euro	-0,67 Euro	+0,05 Euro
X23	% edifici anno di costruzione 1961-1970/ Tot. Edifici	%	-3,63 Euro	-1,83 Euro	-0,02 Euro
X16	Arrivi turistici	N	+0,0003 Euro	+0,0002 Euro	+0,00005 Euro
X94	Attivazione Servizio Porta a Porta	0=No 1= si, tutto l'anno	+69,2 Euro	+5 Euro	-59,2 Euro
X88	I - Servizi di alloggio e ristorazione - unità locali delle imprese attive per km2	N	+9,26 Euro	+4,82 Euro	+0,4 Euro
X25	% edifici anno di costruzione 1981-1990/ Tot. Edifici	%	-2,82 Euro	-1,36 Euro	+0,09 Euro
X34	% edifici >16 interni/ Tot. Edifici	%	-7,78 Euro	-4,74 Euro	-1,70 Euro
X96	% Forsu differenziata/ totale rifiuti differenziati	%	-1,04 Euro	-0,40 Euro	+0,24 Euro
X22	% edifici anno di costruzione 1946-1960/ Tot. Edifici	%	-2,97 Euro	-1,44 Euro	+0,58 Euro

Se si analizzano in contemporanea la Fig. 27 e la tab.4 si nota, in primis, come ci sia una **chiara tendenza al diminuire delle spese nei Comuni, laddove venisse incrementata la presenza di edifici residenziali ad 1 piano e di epoca inferiore al 1918**. Nei **Comuni Costieri**, da modello, **sembra esserci una lieve tendenza ad avere spese più elevate**. All'incremento di un punto percentuale della popolazione divorziata rispetto al totale degli abitanti, si riscontra un incremento delle spese che può andare dai 10,73 Euro ai 44,52 Euro.



**REGIONE
PUGLIA**

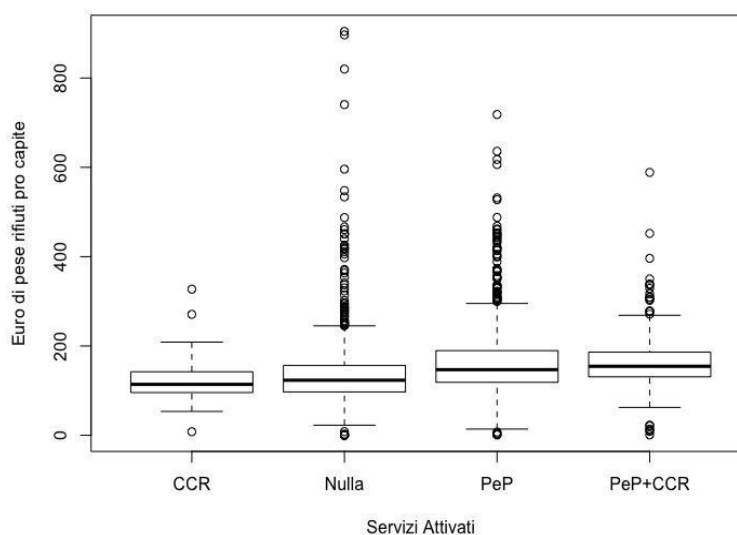
**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Dato interessante deriva dagli arrivi turistici. Per ogni incremento di un turista giunto nei Comuni Pugliesi, da modello, si riscontra un incremento delle spese sui rifiuti che va da 0,0003 Euro a 0,00005 Euro. Laddove vi sia un incremento di una **unità per Km2 di attività di ristorazione** si avrebbe un incremento delle spese medie da 0,4 Euro a 9,26 Euro.

Per andare ad analizzare la differenza tra le spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti tra coloro che hanno attivato il Servizio Porta a Porta e/o il CCR ed i Comuni che non hanno attivato servizi di tal genere, si è, in primis, verificato se la distribuzione di tali spese fosse normale oppure no. Il test di Shapiro Wilk per la normalità ha dato esito negativo ($W = 0.78685$, $p\text{-value} < 0,0001$). Sulla base di tale informazione si è utilizzato il test di Kruskal-Wallis ($\chi\text{-squared} = 194.36$, $df = 3$, $p\text{-value} < 0,0001$) che ha messo in evidenza una differenza tra gruppi. Il test post hoc di Dunn, successivamente, ha messo in evidenza come non ci sia differenza statisticamente significativa tra le spese pro capite dei Comuni con CCR e senza alcun Servizio ($p=0,089$), mentre vi sono maggiori spese nei Comuni dove ci sono sia Porta a Porta che CCR, rispetto ai Comuni con solo CCR, o con Nulla (entrambi $p < 0,0001$) e tra coloro che hanno sia Porta a Porta che CCR e i Comuni che hanno solo Porta a Porta ($p=0,0057$). Le spese dove si effettua solo il Servizio Porta a Porta sono maggiori rispetto a quelle dove esiste solo il CCR ($p < 0,0001$) (Fig.28)

Fig.28– Boxplot delle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti per Servizi porta a porta e/o CCR attivati



3.3.1 - Considerazioni sull'incidenza dell'ecotassa rispetto alle spese dei rifiuti

Dalla Fig. 29 è possibile notare l'evoluzione dell'incidenza dell'ecotassa rispetto al totale delle spese dei rifiuti all'interno dei Comuni. Il dato è stato calcolato basandosi su tutti i Comuni su cui si avevano dati completi sia



**REGIONE
PUGLIA**

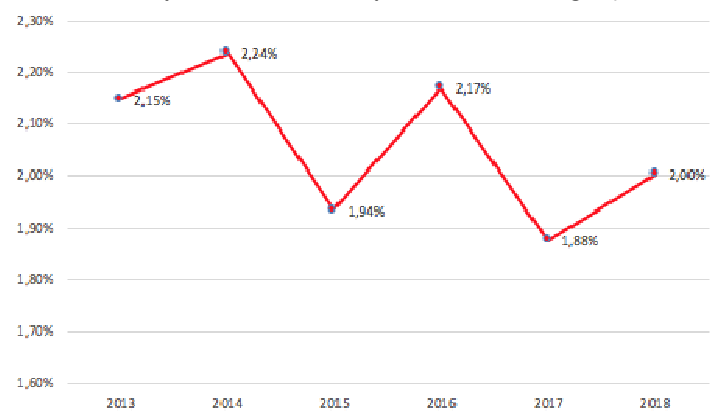
**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

riguardo i dati dei rifiuti prodotti che riguardo le spese per il trattamento ed il trasporto dei rifiuti, con percentuale di completezza dei dati che vanno dall'89,9% del 2018 al 99,6% del 2013.

Come è possibile notare tale incidenza si attesta sempre intorno al 2%. Gli incassi dell'ecotassa del 2018 si sono attestati a circa 14.500.000 Euro con un'incidenza media sulle spese dei bilanci comunali inerenti i rifiuti del 2,3%, una deviazione standard del 2,3%, una mediana dell'1% ed un range che va dallo 0,10% al 9,9%. Il 48,9% dei Comuni rilevati nel 2018, avevano un'incidenza dell'ecotassa sulle spese rifiuti di meno dell'1%.

Fig.29 - Incidenza dell'ecotassa rispetto al totale delle spese dei rifiuti in Puglia (2013-2018)



4. Discussione

Numerosi studi hanno cercato di identificare i fattori che influenzano la produzione dei rifiuti, la raccolta differenziata, nonché la gestione economica degli stessi. Molti hanno dimostrato che tali fattori sono peculiari all'area di studio. Ciascuna zona ha condizioni locali differenti come il clima, lo stile di vita, gli aspetti tecnologici, gli aspetti economici e culturali (Darban A.R et al. 2017).

Si è notato, dai modelli utilizzati in questo studio che, le tipologie di strutture residenziali sono un fattore importante nella produzione dei rifiuti. In particolare, **laddove i numeri di interni degli edifici residenziali sono bassi e medi (fino a 8 interni)** vi è una tendenza ad una **minore produzione dei rifiuti**. **Superato tale numero, vi è una tendenza all'incremento della produzione dei rifiuti**. Tali dati sono in coerenza con alcuni studi che hanno evidenziato un rapporto direttamente proporzionale tra la grandezza degli edifici e la produzione di rifiuti (Anikulmar et al 2016). In contrapposizione si nota che, **nei Comuni con un'alta percentuale di edifici con maggiori dimensioni (maggiori di 16 interni e con più di quattro piani)** vi è una **tendenza a fare meno raccolta differenziata**. Questo fattore deve essere oggetto di studi di approfondimento. Molte possono essere le possibili spiegazioni: dalla diminuzione della qualità della raccolta differenziata che portano come conseguenza una diminuzione delle percentuali delle frazioni merceologiche differenziate ad aspetti più collegati alle caratteristiche socio-economiche prevalenti degli abitanti di tali edifici.

Un ulteriore elemento da approfondire riguarda **l'importanza dei fattori inerenti l'età degli edifici residenziali**. **Dove vi sono molti edifici di periodo costruttivo meno recente, vi è una tendenza ad avere una minore produzione di rifiuti e costi per il trasporto e smaltimento dei rifiuti più bassi**. Una delle possibili spiegazioni potrebbe essere legata al tasso di abbandono degli edifici. La considerazione di tale fattore, come



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

di fattori collegati ai titoli di studio ed ai tassi di disoccupazione della popolazione, potrebbero perfezionare e limare gli errori dei modelli utilizzati.

Coerentemente con molti studi (Darban A.R et al. 2017, Samson et al 2017, Anikulmar et al 2016) **un importante fattore influente sulla produzione dei rifiuti, riguarda l'aspetto reddituale della popolazione.** In particolare si nota **che le classi di reddito basse e medie (fino ai 55.000 Euro annui) sono molto influenti sulla produzione dei rifiuti.**

Nell'ambito della produzione di inquinamento si è teorizzata l'Environmental Kuznets Curve in cui ad un iniziale incremento dell'inquinamento (in questo caso la produzione dei rifiuti) correlato all'incremento dei redditi pro capite, segue da un certo punto un declino dovuto ad una maggiore disponibilità a pagare per avere una maggiore qualità ambientale (Khajuria A et al. 2012). Uno studio in Lombardia ha evidenziato che tale punto in cui incomincia la discesa della produzione dei rifiuti all'aumentare del reddito, si attesta tra i 23.500 ed i 28.000 Euro (Ercolano S. et al. 2018).

I dati pugliesi sembrano suggerire una produzione dei rifiuti in incremento sempre più forte all'aumentare delle classi di reddito dai 0-10.000 Euro (+7% di produzione per ogni percentuale di incremento di tale fascia di reddito), 10.000-15.000 Euro (+7,8%), 15.000-26.000 Euro (+10,5%), per poi incominciare l'appiattimento della curva di incremento dalla classe 26.000-55.000 (+6,8%).

Anche il dato della maggiore produzione dei rifiuti e dei relativi maggiori costi di gestione degli RSU nei Comuni costieri, dove sono presenti in Puglia, i maggiori centri urbani e attrattivi dal punto di vista turistico, risulta coerente con quanto riportato in molti studi. In questi si riporta che nelle aree urbane e turistiche si riscontra una maggiore produzione di rifiuti rispetto alle aree rurali (Hoang et. Al. 2017). Gli arrivi turistici infatti, sono fattori che vanno ad incidere in maniera importante sia nella raccolta differenziata (tra i primi 20 fattori per influenza), ma soprattutto nelle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti (andamento direttamente proporzionale con tale variabile).

Come da previsione, i fattori che maggiormente influenzano la raccolta differenziata **sono stati l'adozione della raccolta porta a porta** (https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection_Final%20Report.pdf) e la **raccolta della frazione FORSU.** In particolare la raccolta spinta della FORSU incide fortemente sulla raccolta differenziata anche per le caratteristiche della produzione dei rifiuti in Puglia. Coerentemente con le altre parti del mondo (Maletz R et al 2017, Anikulmar et al 2016, Verna R.L. 2016) infatti, **la parte della frazione organica risulta una delle principali frazioni merceologiche dei rifiuti prodotti (circa il 19% in Puglia, dai dati dell'Osservatorio dei Rifiuti del 2018).**

Infine, concentrandosi sui **Centri Comunali di Raccolta,** si nota come essi incidono in maniera importante nell'incremento della percentuale della raccolta differenziata, ma, allo stesso tempo, non incidono singolarmente, in maniera rilevante, sulle spese per la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti. **Tale spesa diventa rilevante se associata alla raccolta porta a porta dei rifiuti.**

5. Conclusioni

Il nostro studio ha voluto approcciare il problema della produzione, raccolta differenziata e costi di gestione degli RSU in maniera innovativa, sviluppando modelli di calcolo basati sul deep learning. Tale branca di modelli, si rilevano molto potenti e stanno avendo sviluppi interessanti e di successo in numerosi ambiti. I modelli sviluppati dallo studio, con un buon livello di precisione, hanno permesso di comprendere meglio le dinamiche riguardanti tale settore e possono essere utilizzati anche in altri ambiti territoriali. Sviluppi futuri potrebbero affinare tali modelli e rendere le informazioni derivanti, maggiormente precise. Il presente studio, ha dimostrato come sia importante combinare servizi come i CCR e la raccolta Porta a Porta. Tale combinazione

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

conduce ad un rilevante incremento della raccolta differenziata, con i relativi vantaggi sia in ambito ambientale che sanitario. **Dalle considerazioni di tale studio possono derivarne operazioni concrete per agire sia sull'attivazione più efficace ed efficiente di tali servizi, sia per agire in maniera "chirurgica" su quelle variabili che incidono sensibilmente sulla gestione degli RSU.**

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Ing. Domenico Lovascio, l'Ing. Giovanna Addatti, tutti i funzionari della Sezione Ciclo Rifiuti e Bonifiche e consulenti dell'Osservatorio Regionale dei Rifiuti per gli utili suggerimenti tecnici.

Si ringraziano il Dott. Massimo Bianco, Dirigente dell'Ufficio Statistico della Regione Puglia e la Dott.ssa Donatella Vignani dell'ISTAT per gli utili suggerimenti e supporto nella fase di raccolta dati, nonché il Dott. Carmine La Vita e il Dott. Pasquale Recano del Ministero dell'Interno per la pronta collaborazione nel fornire i dati di Bilancio dei Comuni Pugliesi sulla parte rifiuti.

Si ringraziano tutti i Comuni che hanno risposto al questionario sui CCR e Raccolta Porta a Porta.

**REGIONE
PUGLIA****DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO****SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE**

Bibliografia

D.lgs. 152/2006

L.R. n°36 del 31 dicembre 2009

http://www.regione.puglia.it/documents/10180/5027807/N050_16_03_10.pdf

Bengio, Y.; Courville, A.; Vincent, P. (2013). "Representation Learning: A Review and New Perspectives". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 35 (8): 1798–1828

Goodfellow G I, Bengio Y, Courville C. A. (2015) " Deep Learning" Nature (May 2015)

Ching T et al. (2018) Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. J. R. Soc. Interface 15: 20170387.

De Giglio O, Fasano F., Diella G, Lopuzzo M, Napoli C, Apollonio F, Brigida S, Calia C., Campanale C, Marzella A, Pousis C, Rutigliano S, Triggiano F, Caggiano G, Montagna M.T (2019) "Legionella and legionellosis in touristic-recreational facilities: Influence of climate factors and geostatistical analysis in Southern Italy (2001–2017)" in Environmental Research – Volume 178

Invitalia (2018)– Assetti Organizzativi Gestionali del Servizio di Gestione di Servizi Urbani – Report di rilevazione Puglia – Giugno 2018

ISPRA – Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2019

<http://dati.istat.it/>

http://ecologia.regione.puglia.it/portal/portale_orp

http://cartografia.sit.puglia.it/WEBDAV/ORP/ORP_ALLEG_09112016101318.pdf.

https://www1.finanze.gov.it/finanze3/analisi_stat/index.php?search_class%5B0%5D=cCOMUNE&opendata=yes

<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>

George, D., & Mallery, P. (2003). SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon

<https://www.agenziapugliapromozione.it/portal/osservatorio-del-turismo>

Patro, Gopal S &Sahu, Kumar K. (2015). Normalization: A Preprocessing Stage. IARJSET. 10.17148/IARJSET.2015.2305.



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

Xu Y., Goodacre, R. (2018) On Splitting Training and Validation Set: A Comparative Study of Cross-Validation, Bootstrap and Systematic Sampling for Estimating the Generalization Performance of Supervised Learning. *J. Anal. Test.* 2, 249–262 (2018). <https://doi.org/10.1007/s41664-018-0068-2>

H. Shi, M. Xu, R. Li, "Deep Learning for Household Load Forecasting—A Novel Pooling Deep RNN," (2018) in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 5, pp. 5271-5280, Sept. 2018.

Favorskaya, M. & Andreev, V.. (2019). "The study of activation functions in deep learning for pedestrian detection and tracking". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W12. 53-59. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-53-2019.

Eckle K, Schmidt-Hieber J (2019) A comparison of deep networks with ReLU activation function and linear spline-type methods in *Neural Networks – Volume 110*

Scholbeck C.A., Molnar C., Heumann C., Bischl B., Casalicchio G. (2020) Sampling, Intervention, Prediction, Aggregation: A Generalized Framework for Model-Agnostic Interpretations. In: Cellier P., Driessens K. (eds) *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases. ECML PKDD 2019. Communications in Computer and Information Science*, vol 1167. Springer, Cham

Alex Goldstein, Adam Kapelner, Justin Bleich & Emil Pitkin (2015) Peeking Inside the Black Box: Visualizing Statistical Learning With Plots of Individual Conditional Expectation, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 24:1, 44-65,

DarbanAstane R*, Hajilo M. – (2017) "Factors affecting the rural domestic waste generation" in *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 3(4): 417-426,

Anikulmar p.p., Chithra K. – (2016) "Land Use Based Modelling of Solid Waste Generation for Sustainable Residential Development in Small/Medium Scale Urban Areas" - in *Procedia Environmental Sciences – Volume 35* <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.086>

Samson, Masebinu&Akinlabi, Esther &Muzenda, E &Aboyade, Akinwale&Mbohwa, Charles &Manyuchi, Mercy & Naidoo, P.. (2017). "A Review on Factors affecting Municipal Solid Waste Generation"

Khajuria A , Matsui T. , Machimura T. , Morioka T, (2012) "Decoupling and Environmental Kuznets Curve for municipal solid waste generation: Evidence from India " *International Journal of Environmental Sciences - Volume 2, No 3,*

Ercolano,S., Lucio G, Gaeta L.,Ghinoi S. ,Silvestri F, (2018)"Kuznets curve in municipal solid waste production: An empirical analysis based on municipal-level panel data from the Lombardy region (Italy)" in *Ecological Indicators - Volume 93, October 2018,*

Hoang M, Fujiwara T, Pham Phu S., (2017) "Municipal Waste Generation and Composition in a tourist city – Hoi An, Vietnam" , *Journal of JSCE, Volume 5, Issue 1*



**REGIONE
PUGLIA**

**DIPARTIMENTO MOBILITÀ, QUALITÀ URBANA, OPERE
PUBBLICHE, ECOLOGIA E PAESAGGIO**

SEZIONE CICLO RIFIUTI E BONIFICHE

https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection_Final%20Report.pdf

Maletz R. (2017) Success Factors for the Implementation of Separate Collection Systems. In: Maletz R., Dornack C., Ziyang L. (eds) Source Separation and Recycling. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 63. Springer, Cham

Verna R.L., Borogan G, Memon M, (2016) "Municipal Solid Waste Management in Ho Chi Minh City, Viet Nam, Current Practices and Future Recommendation" - Procedia Environmental Sciences • 2016

Variables influencing per capita production, separate collection and costs of Municipal Solid Waste in Apulia Region: an experience of deep learning.

Fabrizio Fasano ^a, Anna Sabrina Addante ^a, Barbara Valenzano ^b Giovanni Scannicchio ^a

^a Apulia Region - Waste Management Section – Via G. Gentile, 52, 70126 Bari - e-mail addresses: f.fasano@regione.puglia.it, addante.sabrina@gmail.com, g.scannicchio@regione.puglia.it

^b Apulia Region - Mobility, urban quality, ecology and landscape Department – Via G. Gentile, 52, 70126 Bari - e-mail address: b.valenzano@regione.puglia.it

HIGHLIGHTS

- Deep Learning used to understand variables that influence MSW production, separate collection and costs.
- Interior residential buildings and construction years influenced MSW production resulting.
- Municipal Collection Centers and Door to Door Service was very important for MSW separate collection
- The characteristics of the residential buildings influenced MSW management costs.

ABSTRACT

Municipal Solid Waste (MSW) is an important problem to manage to reduce as more as possible the impact on environmental matrices and on health of population. In particular is fundamental to understand the variables that influence the production of MSW, MSW separate collection and MSW costs. Although many studies have shown that such factors are peculiar to the area of study, the awareness of this factor has created opportunity to do concrete operations in order to have a more effective and efficient MSW management services, and to act in a surgical way on those variables that have considerably affect on this. Deep Learning approaches used in this study has proven effective in achieving this goal and it can be using in any other territorial context to ensure that the organizations that deal with these issues are more aware and create useful plans to promote circular economy. In particular by our studies resulted very important influencing of interior residential buildings and construction years on MSW production, the combination of services such as Municipal Collection Centers and Door to Door Service for MSW separate collection and the characteristics of the residential buildings present in the Municipalities on MSW management costs.

1. Introduction

The 7th Environment Action Programme (EAP) will be guiding European environment policy until 2020 with the objective to have a low carbon society, a green and circular economy and resilient ecosystems at the base of citizens' welfare. A circular economy needs to develop a Municipal Solid Waste (MSW) Management System based both on the reduction of their production and to increase as much as possible reuse and/or recycling. Moreover, MSW's treatment and transport must be based on minimizing impacts on all environmental matrices and on public health.

In order to favor a circular economy in the Apulia region context, Apulian Waste Regional Observatory (AWRO) was created (Regional Law n 36/2019). AWRO is a technical-administrative structure with the aim to monitoring the Apulian integrated waste cycle and it supports the Apulian Region about its Environmental

Policy on Waste Management, with collecting and elaborating data about urban solid waste and special/hazardous waste production, recovery and disposal, broadcasting the results.

In this context this study is set. It was developed studying the infrastructure, organizational, demographic, social and economic variables influencing per capita production of MSW, MSW separate collection and MSW costs.

To achieve this goal, models based on a deep learning approach were created.

Deep learning is part of family of machine learning algorithms based on artificial neural networks (Bengio Y et al, 2013). Deep Learning uses multiple layers to progressively extract higher level features from the raw input (Deng, L.; Yu, D. 2014) inspiring its functionalities by information processing and distributed communication nodes in biological systems.

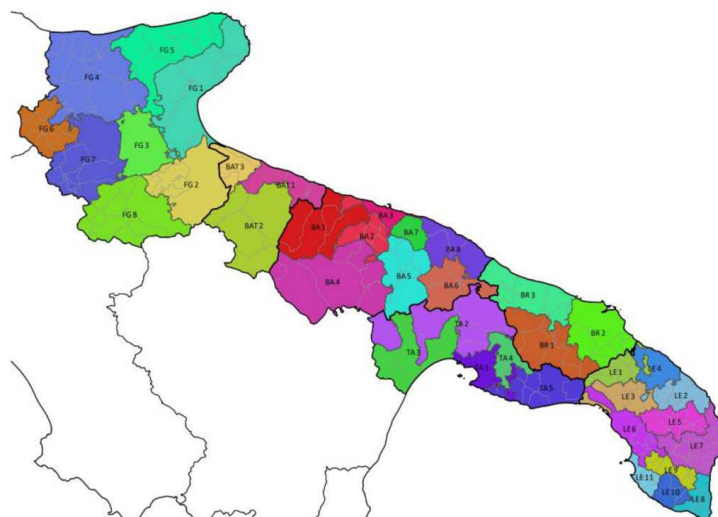
Deep learning techniques are widely used in many aspect of modern society: from the medical field (Ching 2018), to web researches, to recommendations on e-commerce websites, to identify objects in images, transcribe speech into text, match news items, post or products, with users' interests and select the relevant research results (Goodfellow G I et al. 2015).

2. Materials and Methods

2.1 – Geographical area of study

Apulia is a region of south-eastern Italy with 257 municipality, a land surface area of 19,347 km², 800 km of coastline and 4 million inhabitants (De Giglio et al. 2019). MSW management services are organized in 38 homogenous areas (Regional Council Resolution n.2147/2012) (Fig.1)

Fig. 1– Homogenous areas of MSW management services in Apulia. (Source: Invitalia - June 2018)



Apulia is the highest Region per capita production in Southern Italy (2018 - 467 kg inhabitants per year vs 499,7 kg in Italy) and the fourth last for percentage of separate collection (2018 – 47,3% vs 58,1% in Italy) (ISPRA – 2019).

2.2 – Data Collection

Different sources have been consulted to collecting data of each municipality for the period 2008-2018:

Demographic, social and infrastructural data

Data has been collected from <http://dati.istat.it/> websites about:

- Resident Population (Total, by age, by sex, by marital status)
- Density (inhabitant per km²)
- Number of components per family
- Demographic indicators (Mortality rate, Birth rate, Natural balance, Migration balances, Total balance)
- Land Area
- Number of residential buildings by period of construction, by number of interiors and by number of floors
- Number of local units of active businesses by type

MSW production and separate collection data

These data are transmitted monthly by the Apulian Municipalities on regional environmental portal (http://ecologia.regione.puglia.it/portal/portale_orp) and publicly available.

The percentage of separate collection is calculated based on "Guidelines" introduced by the Italian Environmental Decree of 26 May 2016 and implemented by the Apulia Region (Regional Council Resolution 1548/2016).

These data classified by EWC codes have been grouped by main fractions of separate collection (paper, plastic, glass, organic, multi-material, green, metals)

Tax Return

Data about Tax return (Number of taxpayers, Total income = 0 Euro, Total income from 0 to 10,000 Euro, Total income from 10,000 to 15,000 Euro, Total income from 15,000 to 26,000 Euro, Total income from 26,000 to 55,000 Euro, Total income from 55,000 to 75,000 Euro, Total income from 75,000 to 120,000 Euro, Total income over 120,000 Euro) is available on the website of Italian Ministry of Finance (https://www1.finanze.gov.it/finanze3/analisi_stat/index.php?search_class%5B0%5D=cCOMUNE&opendata=yes).

Land Consumption

Data about Land Consumption percentage on the total land extension can be found on the ISPRA website <http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>

Municipalities Budget and MSW management services

The budget data is concerning the expenses for the collection and disposal of waste have been provided by the Italian Ministry of the Interior. Within these data there were also news on MSW management services from 2008 to 2015.

Municipal Waste Collection Centres and Door to Door Collection

Survey has been conducted addressed to all Apulian municipalities, using the application "Google Forms". Data collected for each municipality by this survey were about:

- Presence of Waste Collection Centres
- Kg of MSW separate fraction collected in Waste Collection Centres from 2008 to 2018
- Door-to-door services date of departure
- MSW management services from 2016 to 2018

Before submitting the questionnaire to all Municipalities, a sample of 15 Municipalities were involved. On the replies were calculated Cronbach's Alpha coefficient, to measures reliability or internal consistency of the survey (Tavakol M et al. 2011). The same test was subsequently applied to all questionnaire replies.

Tourist arrivals and presences

The Apulian data of tourist arrivals (number of tourists who have visited Apulia Region) and tourist presences (tourist arrivals multiplied by the days of stay) were collected through the website of the Regional Agency "Puglia Promozione" (<https://www.agenziapugliapromozione.it/portal/osservatorio-del-turismo>).

Coastal or Rural Municipalities

data from cartographic analysis using the QGIS 3.10 program

2.3 – Choice of indicators and their development

The data collected made it possible to identify 102 variables for the study of the dependents variables:

1. Annual per capita waste production (kg) corrected with the number of tourists and tourist arrivals
2. Percentage of separate collection
3. MSW management costs (Euro per inhabitant per year)

Depending on the study of the dependent variable, some independent indicators have been excluded due to a lack of a possible influence.

2.4 – Treatment of categorical indicators and missing data

4 of 102 indicators chosen were categorical. These indicators have been converted into a numerical format with the techniques of ordinal coding (Potdar 2017) as follows:

- *MSW management Apulian homogenous areas* : each of the 38 homogeneous Area has been assigned a progressive code from 1 to 38;
- *Coastal or Rural Municipalities*: Coastal Municipalities had code 2, Rural ones had code 1;
- *MSW management services*: the same numerical classification used by the Italian Ministry of the Interior has been used:
 - 1 : service managed in economy.
 - 2 : service managed with municipal company
 - 3 : service managed with provincial company
 - 4 : service managed with a consortium
 - 5 : service managed with a private company
 - 6: service managed with a public company
 - 7: consortium management service, consortium head
 - 8: consortium management service, consortium body
 - 9: service with other type of management
- *Door to door service*: where present all the year, the assigned value was 1, if not activated the assigned value was equal to 0. Where started in the course of the year, the numerical classification depended on the following formula:

Months of active Door to Door Service in a year/ Numbers of months of the year

If the data were found to be inconsistent or not treatable, they are excluded from the analysis.

2.5 – Models developed for the study – Deep learning and Inferential statistic study

In order to understand what may be the variables that most affect the dependent variables (per capita production of MSW, separate collection and costs for waste collection and disposal) models with a deep learning approach have been developed.

Firstly, data has been randomized, then independent variables has been normalized to make them in a single comparable unit of measurement (with values ranging from 0 to 1), through the following formula (Patro et al. 2015):

$$X_n = (X_{nn} - \text{Min}(X)) / \text{Max}(X) - \text{Min}(X)$$

X_n = normalized value of each variable at record n

X_{nn} = not normalized value of each variable at record n

$\text{Max}(X)$ = maximum value of each variable

$\text{Min}(X)$ = minimum value of each variable

All datasets have been divided into two parts. The first part containing 70% of the data was used to train the model, the second containing 30% of the data was subsequently used to evaluate the quality of the model (testing phase) (Xu Y., Goodacre R., 2018).

With the first part the developed models adapt their algorithms becoming more and more precise, on the basis of a series of learning epochs defined by who builds the models. The goodness of the models is evaluated by going to use the "trained model" on the testing data and comparing these predicted values with the real ones of testing. Each model solve regression problems and for this two measures have been used to evaluate its goodness, the RMSE (root-mean-square error) and the MAE (Mean Absolute Error) (H. Shi, M. Xu, R. Li, 2018). Low values of each type of error correspond to best model performance. For each layer of the models, a bias neuron has been provided to strengthen its effectiveness.

The most frequently used activation function, ReLU (Rectified Linear Unit) was used for each model (Favorskaya, M. & Andreev, V., 2019 e Eckle K, 2019). For each layer of the models, a bias neuron has been provided to strengthen its effectiveness.

All models were developed using the R 3.6.3 program (Keras)

To assess which variables are most important within each model, we used the R package "vip" (permutation-based VI scores method – Scholbeck C.A, 2020)

The ICE curves (Individual Conditional Expectation) have been subsequently elaborated, to underline the relationship between the most important variables of the models and the output of the model. The ICE curves represent the output values resulting from the model for each value that can be taken from each dataset record (gray lines) (Alex Goldstein et al. 2015). The red lines of each figures represent average output values as the value of each variable changes.

From the variation of this red line it has been possible to determine the range of increase or decrease of the average output, to increase of the unit of measure of each variable.

In this calculation the highest error of each model between RMSE and MAE was considered, following the formula:

Maximum range value:

$$\text{Max} \left(X_0 \pm (\text{Max}(\text{RMSE:MAE})) \right) - \left(X_1 \pm (\text{Max}(\text{RMSE:MAE})) \right) / |Y_0 - Y_1|$$

Mean range value:

$$(X_0 - X_1) / |Y_0 - Y_1|$$

Minimum range value:

$$\text{Min} \left(X0 \pm (\text{Max}(\text{RMSE:MAE})) \right) - \left(X1 \pm (\text{Max}(\text{RMSE:MAE})) \right) / |Y0 - Y1|$$

X0 = Output value at value=0 of normalized input

X1= Output value at value=1 of normalized input

Y0 = Not normalized Input value=0

Y1 = Not normalized Input value=1

Inferential Statistics Analysis (Cronbach’s Alpha, Pearson Correlation Coefficient, Shapiro Wilk Normality Test, Kruskal Wallis Test, Dunn Post Hoc Test) were conducted with R.3.6.3 software, assuming p-value<0,05 as statistically significant difference.

3 –Results

3.1 Survey about Municipal Waste Collection Centres and Door to Door Collection

Cronbach’s Alpha about the sample of 15 Municipalities led to a result equal to 0.97. This indicator calculated subsequently on all respondents (231/257 – 89,9%) gave a result of 0.92.

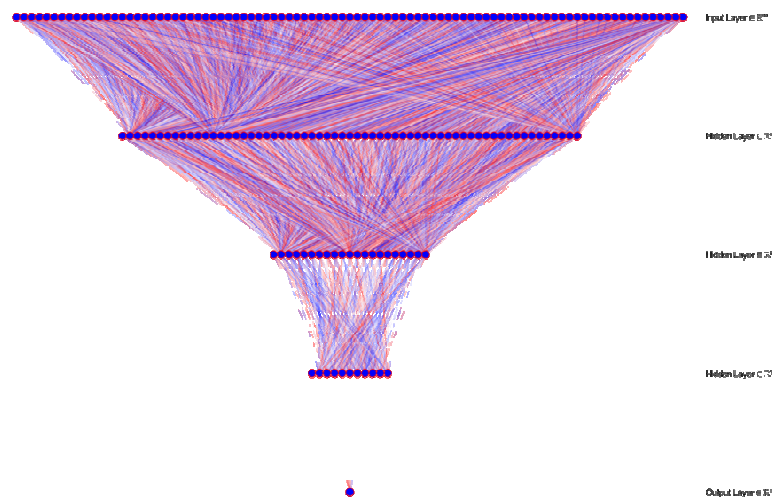
3.2 – Annual per capita waste production

Annual per capita waste production (Kg inhabitant + tourists per year) in Apulia decreased by 24.3% from 2008 to 2018, passing from 516,9 kg per capita to 467,2 kg per capita.

The developed model had an input layer of 88 variables to predict the unique output value “Annual per capita waste production (kg per year)”. The dataset with all complete input data was equal to 2,730 records (96,6% - 2730/2827. These data are above the 2,417 records needed to have a 99% confidence level and a 1% confidence interval).

The best performing model has provided 3 hidden layers of 60, 20 and 10 neurons respectively (Fig.2)

Fig.2–Deep Learning Model Architecture “Annual per capita waste production”



800 learning epochs were used to train the model.

The correlation between the real values of the part of the dataset of testing (30% of the data) and those predicted from the model is 94,6% (MAE=30,8 Kg and RMSE=40,2 Kg).

The most important variables influencing Annual per capita waste production resulting by the model (Fig.3), are mainly related to residential buildings interior (1 interior- X29, 2 interiors - X30, 5-8 interiors - X32, 3-4 interiors - X31, 9-15 interiors - X33) , to residential buildings construction years and in particular at the frequencies of the oldest residential buildings (Buildings built <1918 - X20, Buildings built between 1919 and 1945 - X21, Buildings built between 1946 and 1960 - X22), to the type of Municipality (Coastal or Rural - X6) and to the frequency of the declared incomes on the total of the declared incomes, and in particular to the lower bands of income (band of income 26,000-55,000 euros - X67, 0-10,000 euros - X64, 15,000-26,000 euros -X66, 10,000-15,000 euros -X65)

Fig. 3– 15 independent variables more influential on the Annual per capita waste production (variable =X4)

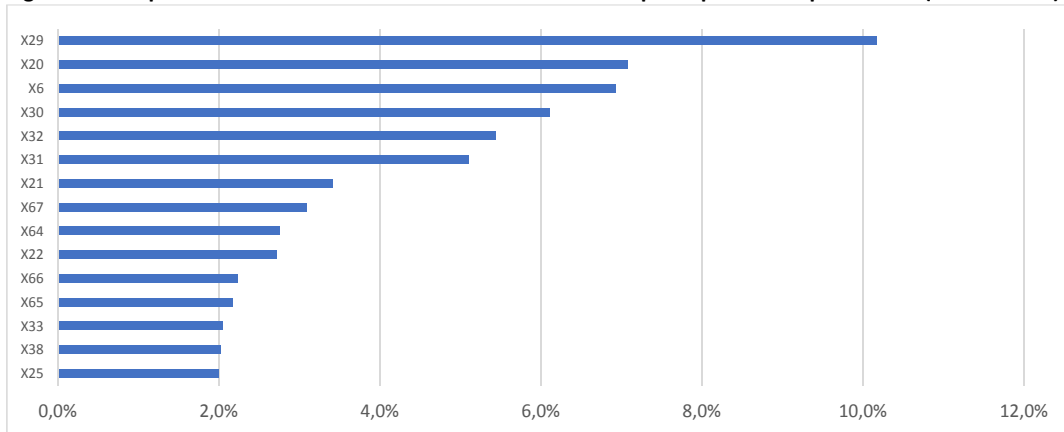


Fig. 4 shows the ICE curves of the 15 most influential variables on output “Annual per capita waste production”, driven by the model.

Fig. 4 – ICE curves of the 15 most influential variables on output “Annual per capita waste production”

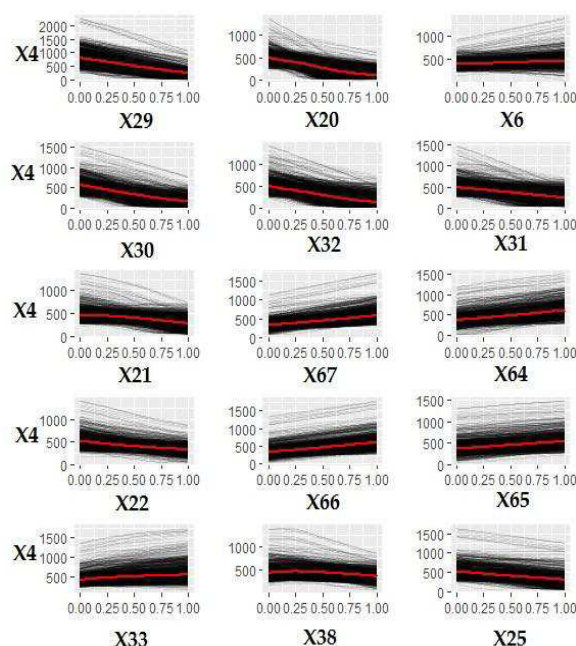


Table 1 shows the range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 15 variables shown in Figure 4, by the calculation method described in paragraph 2.4.

Tab. 1 – Annual per capita waste production - Range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 15 variables shown in Figure 4

Cod. Var.	Variable	measurement unit	Maximum Increase/Decrease in annual production MSW at variation of 1 unit of measurement (kg)	Medium Increase/Decrease in annual production MSW at variation of 1 unit of measurement (kg)	Minimum Increase/Decrease in annual production MSW at variation of 1 unit of measurement (kg)
X29	% residential buildings with 1 interior/Tot. residential buildings	%	-7,1	-6,2	-5,3
X20	% residential buildings built <1918/ Tot. residential buildings	%	-6,0	-5,0	-4,0
X6	Coastal or Rural Municipalities	Coastal/R ural	+160,4	+80	-0,4
X30	% residential buildings with 2 interiors/Tot. residential buildings	%	-6,3	-5,2	-4,2
X32	% residential buildings with 5-8 interiors/Tot. residential buildings	%	-14,7	-12,1	-9,5
X31	% residential buildings with 3-4 interiors/Tot. residential buildings	%	-8,1	-6,0	-3,9
X21	% residential buildings built 1918-1949/ Tot. residential buildings	%	-6,8	-4,9	-2,9
X67	Annual income 26,000-55.000 euros /Total Income	%	+9,1	+6,8	+4,7
X64	Annual income 0-10,000 euros /Total Income	%	+9,3	+7,0	+4,7
X22	% residential buildings built 1946-1960/ Tot. residential buildings	%	-5,8	-3,8%	-1,9
X66	Annual income 15,000-	%	+13,3	+10,5	+7,7

	26,000 euros /Total Income				
X65	Annual income 10,000-15,000 euros /Total Income	%	+11,4	+7,8	+4,2
X33	% residential buildings with 9-15 interiors/Tot. residential buildings	%	+9,3	+5,2	+1,0
X38	% residential buildings > 4 floors/ Tot. residential buildings	%	+4,2	+2,1	0
X25	% residential buildings built 1981-1990/ Tot. residential buildings	%	-7,5	-5,7	-3,9

From the fig.4 and tab.1 it is noticed that trend in the number of interiors variables in residential buildings is inversely proportional to the Annual per capita waste production. The variable that has the greatest impact on Annual per capita waste production X29 = % of residential buildings with 1 interior, has a trend of the ICE curve quite marked and linear downwards.

If all municipalities had a percentage of this type of buildings equal to the minimum present in the dataset (11.2% of total buildings), average of the Annual per capita waste production in Apulia would be almost double compared to the current (800 kg per year). With each percentage point increase of these buildings, Annual per capita waste production is reduced by an average range from 7.1 kg to 5.3 kg.

Only the buildings with more interiors (X33) have a trend directly proportional with per capita waste production. With each percentage point increase of these buildings, annual waste production is increased by an average range from 9,3 kg to 1 Kg.

An higher percentage of older residential buildings (X20, X21, X22) seems to favor a lower annual waste production. If all Apulian Municipalities (X6) were Coastal, would have a higher per capita waste production. the average incidence of the variable is 80 kg (range from 0,4 kg to 160,4 kg).

The income of the population influences MSW production (In particular, low and medium income classes). The increase in the percentages of these classes leads to an increase of MSW production per capita.

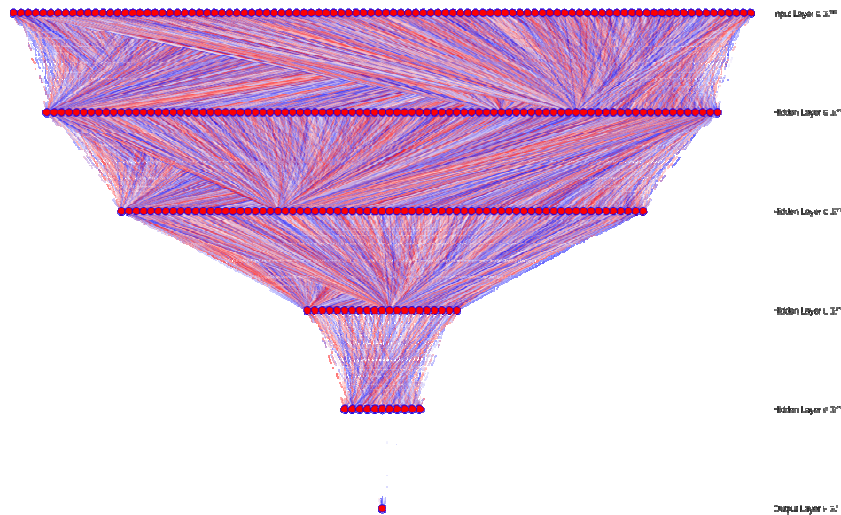
3.3– Percentage of separate collection

The percentage of separate collection in Apulia has quadrupled passing from the value of 12.4% in 2008 to 51.4% in 2019.

The developed model had an input layer of 99 variables to predict the unique output value “Percentage of separate collection”. The dataset with all complete input data was equal to 2,623 records (92,8% - 2623/2827. These data are above the 2,417 records needed to have a 99% confidence level and a 1% confidence interval).

The best performing model has provided 4 hidden layers of 90, 70, 20 and 10 neurons respectively (Fig.5)

Fig.5 – Deep Learning Model Architecture “Percentage of separate collection”



100 learning epochs were used to train the model.

The correlation between the real values of the part of the dataset of testing (30% of the data) and those predicted from the model is 94,8% (MAE=2,9% and RMSE=3,9%).

The most important variables influencing percentage of separate collection resulting by the model (Fig.6) are related to door to door service (X94) and to the main waste fraction of separate collection. In order of importance they are Organic Fraction, Paper, Multimaterial fraction and Glass (X96-X99-X102-X100). Annual MSW pro capite production is important for the percentage of separate collection (X4). Among the most important variables and least discounted are some of the infrastructural features of residential buildings such as structures with larger interiors (> 16 interiors - X34 and 9-15 interiors - X33) or residential buildings with 1 floors (X35) and 4 floors (X38). Municipal Collection Centers (X95) and their percentage of collected waste compared to the total of separate collection play an important role in influencing the separate collection (16th variable in order of importance. It affects the 1.3% model. The same value of X20 - % residential buildings built <1918/ Tot. residential buildings).

Fig. 6 – 15 independent variables more influential on the percentage of separate collection (variable =X3)

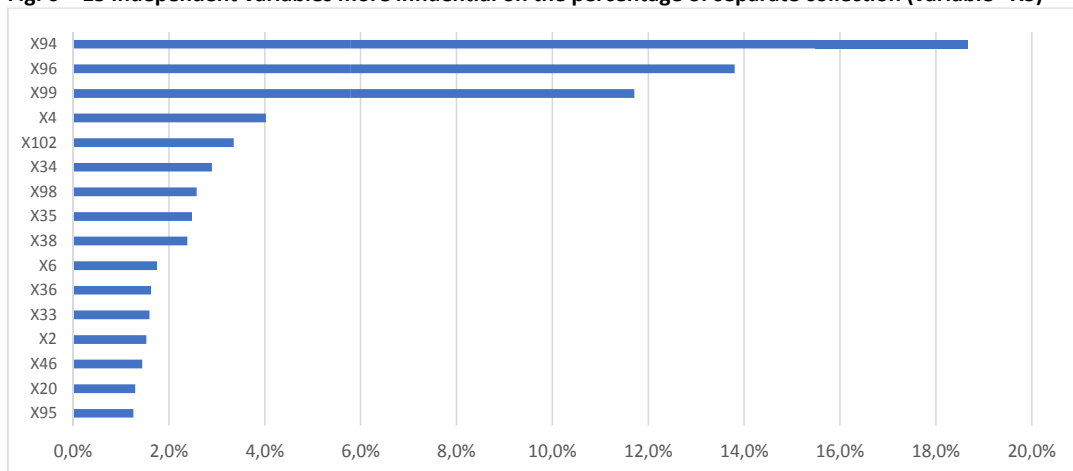


Fig. 7 shows the ICE curves of the 16 most influential variables on output “Percentage of separate collection” driven by the model.

Fig. 7– ICE curves of the 16 most influential variables on output “Percentage of separate collection” (X3)*

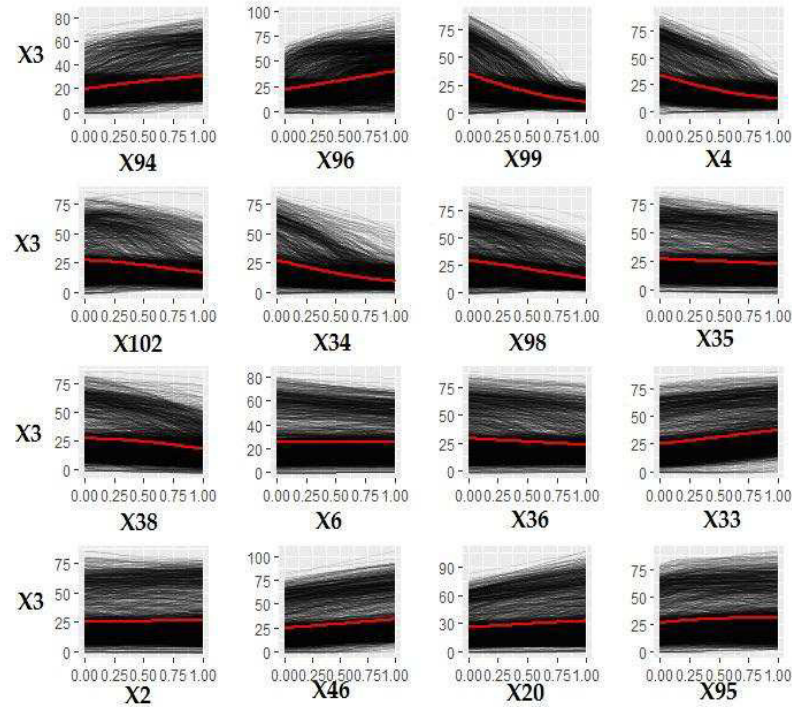


Table 2 shows the range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 16 variables shown in Figure 7, by the calculation method described in paragraph 2.4.

Tab. 2 – Percentage of separate collection - Range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 16 variables shown in Figure 7

Cod.Va r.	Variable	measur ement unit	Maximum Increase/Decrease in percentage of separate collection at variation of 1 unit of measurement	Medium Increase/Decrease in percentage of separate collection at variation of 1 unit of measurement	Minimum Increase/Decrease in percentage of separate collection at variation of 1 unit of measurement
X94	Door to Door Service	0=No 1= Yes all year round	+3,2%	+11%	+18,8%
X96	% Organic Fraction/ Total separate collection	%	+0,16%	+0,08%	+0,002%
X99	% Paper Fraction / Total separate collection	%	-0,33%	-0,25%	-0,17%
X4	Annual per capita waste production	Kg	-0,022%	-0,016%	-0,011%
X102	% Multimaterial Fraction / Total separate collection	%	-0,26%	-0,14%	-0,03%
X34	% residential buildings with > 16 interiors/Tot. residential buildings	%	-1,2%	-0,83%	-0,46%
X98	% Glass fraction / Total separate collection	%	-0,29%	-0,20%	-0,11%
X35	% residential buildings with 1 floor/ Tot. residential buildings	%	+0,05	-0,05%	-0,15%

X38	% residential buildings > 4 floors/ Tot. residential buildings	%	-0,43%	-0,22%	-0,02%
X6	Coastal or Rural Municipalities	Coastal /Rural	+5,8	-2,0%	-9,8%
X36	% residential buildings > with 2 floors/ Tot. residential buildings	%	+0,08%	-0,08%	-0,23%
X33	% residential buildings with 9-15 interiors/Tot. residential buildings	%	+1,05%	+0,64%	+0,24%
X46	% Land consumption/ total land extension	%	+0,39%	+0,20%	0
X20	% residential buildings built <1918/ Tot. residential buildings	%	+0,19%	+0,09%	0
X95	% separate waste collection gathered by Municipal Waste Collection Centre /Total separate collection	%	+0,18%	+0,1	+0,02%

From the fig.7 and tab.2 it is noticed that door to door service leads to an increase of percentage of separate collection from 3,2% to 18,8% with a mean of 11%. With the increasing of percentage of separate collection, there was an increase of percentage of Organic Fraction on total of separate collection while the other fractions tend to decrease in proportion (Paper, Multimaterial Fraction, Glass).

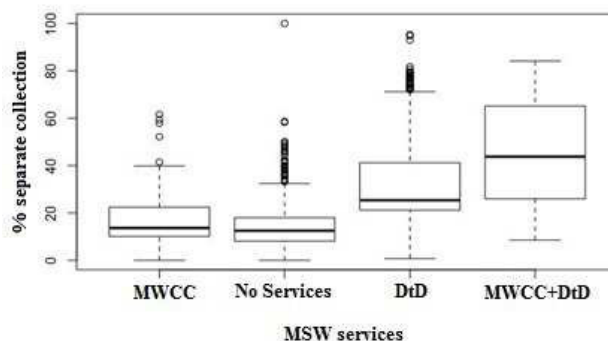
MSW annual production has an inversely proportional effect on the percentage of separate collection. With the decrease of each kg of waste production, there is an increase of percentage of the separate collection (range from 0.011% to 0.022%). Separate collection tends to decrease with the increase in the size of residential buildings (over 16 interiors and over 4 floors).

Municipal Waste Collection Centers have an influence on the separate collection. For each percentage of separate collection gathered by the Municipal Waste Collection Centers there is an increase in separate collection ranging from +0.02% to +0.18%

An inferential Statistical Analysis was conducted to confirm model results. In particular, the data of separate collection has been compared between the Municipalities and the different type of MSW services. The distribution of the separate collection percentage of the available dataset was not normal (Shapiro Wilk test $W = 0.87552$, $p\text{-value} < 0.0001$). Not parametric Kruskal Wallis test was used for comparison (Kruskal-Wallis chi-squared = 1250.7, $df = 3$, $p\text{-value} < 0.0001$) showing a difference between the medians of the percentage of separate collection of the groups.

Dunn's post hoc test showed there was statistically significant differences for each comparison (all $p\text{-value} < 0,0001$ excluding Municipalities with Municipal Waste Collection Centers vs Municipalities with neither of two services ($p=0,004$)). The percentage of separate collection is higher in the Municipalities with door to door service or with Municipal Waste Collection Centers and even more in combination with each other, (Fig.8)

Fig.8– Boxplot percentage of separate collection in comparison with the presence of door to door service or Municipal Waste Collection Centers



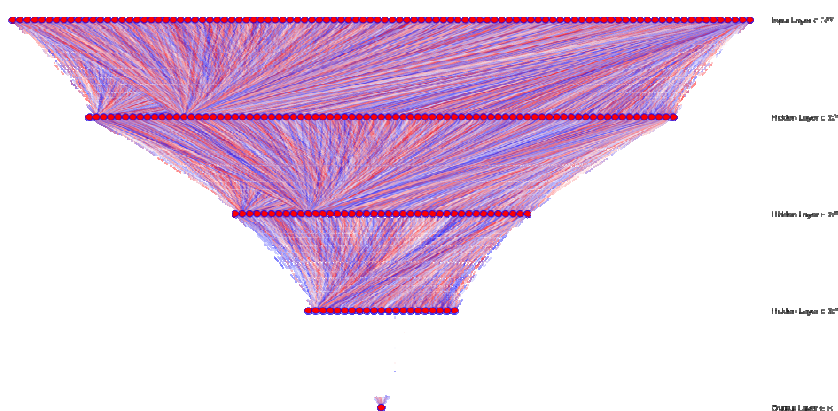
3.4 MSW management costs (Euro per inhabitant per year)

In 2018 the municipalities, were spent by 716,744,600 Euro for MSW management in Apulia Region. Since 2008 expenditure has grown by 39.7%. Most costs in this area were for the purchase of goods and services (over 96%)

The developed model had an input layer of 101 variables to predict the unique output value "MSW management costs (Euro per inhabitant per year)". The dataset with all complete input data was equal to 2,618 records (92,6% - 2618/2827. These data are above the 2,417 records needed to have a 99% confidence level and a 1% confidence interval).

The best performing model has provided 3 hidden layers of 80, 40, and 20 neurons respectively (Fig.9)

Fig.9– Deep Learning Model Architecture “Waste collection and disposal costs”



200 learning epochs were used to train the model.

The correlation between the real values of the part of the dataset of testing (30% of the data) and those predicted from the model is 86,2% (MAE=24,2 Euros and RMSE=32,1 Euros).

The most important variables influencing MSW management costs (Fig. 10) are related to the characteristics of the residential buildings present in the Municipalities (X35 - Residential buildings with 1 floor, X20 – residential buildings built <1918, X21 - Residential buildings built from 1919 to 1945, X37 - Residential buildings with 3 floors, X29 - Residential buildings with 1 interior, X23 - Residential buildings built from 1961 to 1970). Among the top 10 variables there are also the Type of Municipality (Coastal or Rural - X6), the presence of door-to-door service (X94) and tourist arrivals (X16). There also seems to be a possible influence of the divorced population (X43). Among the separate collection fractions collected Organic one seems to affect more (X96)

Fig. 10– 15 independent variables more influential on Waste collection and disposal costs (variable =X1)

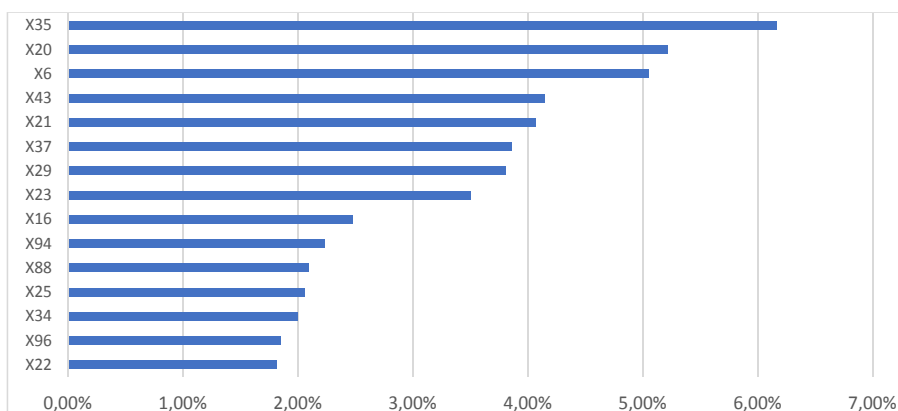


Fig. 11 shows the ICE curves of the 15 most influential variables on output “MSW management costs” driven by the model.

Fig. 11– ICE curves of the 15 most influential variables on output “MSW management costs” (X1)

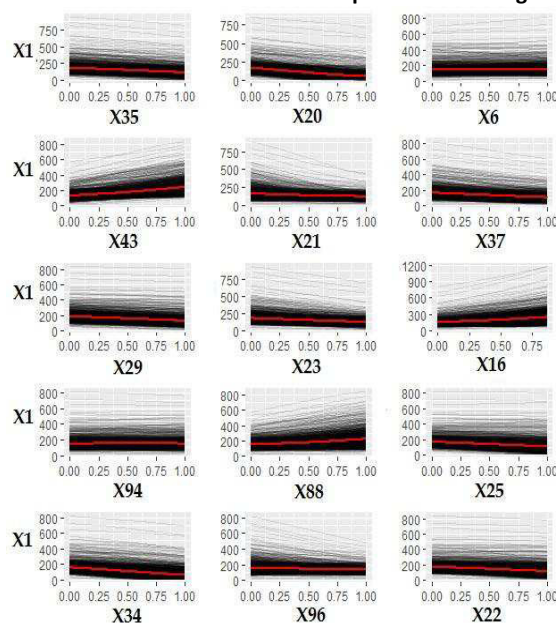


Table 3 shows the range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 15 variables shown in Figure 11, by the calculation method described in paragraph 2.4.

Tab. 3 – MSW management costs - Range of the average increment/decrement value per unit of measurement of each of the 15 variables shown in Figure 11

Cod.Va r.	Variable	measure ment unit	Maximum Increase/Decrease in Waste collection and disposal costs at variation of 1 unit of measurement	Medium Increase/Decrease in Waste collection and disposal costs at variation of 1 unit of measurement	Minimum Increase/Decrease in Waste collection and disposal costs at variation of 1 unit of measurement
X35	% residential buildings with 1 floor/ Tot. residential buildings	%	-1,72 Euro	- 0,87 Euro	-0,02 Euro
X20	% residential buildings built <1918/ Tot.	%	-2,24 Euro	-1,43 Euro	-0,64 Euro

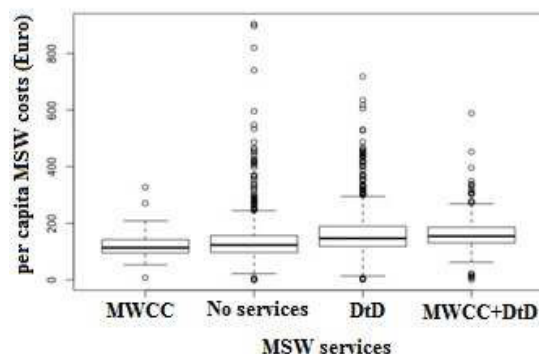
	residential buildings				
X6	Coastal or Rural Municipalities	Coastal/Rural	+74,2 Euro	+10,0 Euro	-54,2 Euro
X43	% divorced population/Tot. Inhabitants	%	+44,52 Euro	+27,6 Euro	+10,73 Euro
X21	% residential buildings built 1919-1945/ Tot. residential buildings	%	-2,39 Euro	-0,84 Euro	+0,70 Euro
X37	% residential buildings with 3 floors/ Tot. residential buildings	%	-2,60 Euro	-1,31 Euro	-0,01 Euro
X29	% residential buildings with 1 interior/Tot. residential buildings	%	-1,40 Euro	-0,67 Euro	+0,05 Euro
X23	% residential buildings built 1961-1970/ Tot. residential buildings	%	-3,63 Euro	-1,83 Euro	-0,02 Euro
X16	Tourist arrivals	N	+0,0003 Euro	+0,0002 Euro	+0,00005 Euro
X94	Door to Door Service	0=No 1= Yes all year round	+69,2 Euro	+5 Euro	-59,2 Euro
X88	l - Accommodation and catering services - local units of active enterprises per km2	N	+9,26 Euro	+4,82 Euro	+0,4 Euro
X25	% residential buildings built 1981-1990/ Tot. residential buildings	%	-2,82 Euro	-1,36 Euro	+0,09 Euro
X34	% residential buildings >16 interiors/Tot. residential buildings	%	-7,78 Euro	-4,74 Euro	-1,70 Euro
X96	% Organic Fraction/ Total separate collection	%	-1,04 Euro	-0,40 Euro	+0,24 Euro
X22	% residential buildings built 1946-1960/ Tot. residential buildings	%	-2,97 Euro	-1,44 Euro	+0,58 Euro

From the fig.11 and tab.3 it is noticed the reduction of costs in the municipalities, if the presence of residential on buildings with one floor and older than 1918 are increased. In coastal municipalities, as a model, there seems to be a slight tendency to have higher costs. At the increase of one percentage point of the divorced population in relation to the total population, there is an increase in costs from 10.73 Euro to 44.52 Euro. For every increase of a tourist arrived in the Apulian municipalities, there is an increase in costs from 0.0003 Euro to 0.00005 Euro. For each increase of one unit per km² of catering activity there is an increase of the average costs from 0,4 Euro to 9,26 Euro.

An inferential Statistical Analysis was conducted to compared the data of Waste collection and disposal costs compared to the activation of door to door service with theMunicipal Waste Collection Center.

The distribution of these costs was not normal. (Shapiro Wilk test $W = 0.78685$, $p\text{-value} < 0.0001$). The not parametric Kruskal-Wallis test was used, highlighting a difference between groups (Kruskal-Wallis chi-squared = 194.36, $df = 3$, $p\text{-value} < 0.0001$). The post hoc test of Dunn, subsequently, highlighted that there is no statistically significant difference between per capita costs of Municipalities with Municipal Waste Collection Center and without any Service ($p=0.089$) while there are more costs in Municipalities where there are both Door to Door service and Municipal Waste Collection Center, compared to the Municipalities with only Municipal Waste Collection Center, or to the Municipalities with neither of two services (both $p < 0,0001$) and between those who have both Door to Door service and Municipal Waste Collection Center and the Municipalities that have only Door to Door service ($p=0.0057$) (Fig.12)

Fig.12– Boxplot Waste collection and disposal costs in comparison with the presence of door to door service or Municipal Waste Collection Centers



4. Discussion

Numerous studies have tried to identify the factors influencing MSW production, separate collection and costs. A lot of them have shown that such factors are peculiar to the area of study. Each area has different local conditions such as climate, lifestyle, technological aspects, economic and cultural aspects (Darban A.R et al. 2017).

This study highlighted that the types of residential structures are an important factor in the production of waste. In particular, where the interior numbers of residential buildings are low and medium (up to 8 interiors) there is a tendency to lower waste generation. If this number is exceeded, there is a tendency to increase the production of waste. These data are consistent with some studies which have shown a directly proportional relationship between the size of buildings and the generation of waste (Anikulmar et al 2016).

In municipalities with a high percentage of buildings with larger size (larger than 16 interiors and with more than four floors) there is a tendency to do less separate collection. This factor must be the subject of in-depth studies. There can be many possible explanations: from the difficulties of organizing an efficient collection system to aspects more related to the prevailing socio-economic characteristics of the inhabitants of such buildings.

A further element to be explored concerns the importance of age factors in residential buildings. Where there are many buildings of less recent construction period, there is a tendency to have a lower production of waste and lower costs for transport and disposal of waste. One of the possible explanations could be linked to the abandonment rate of buildings. The consideration of this factor, as factors linked to educational qualifications and unemployment rates of the population, could refine and correct the errors of the models used.

Consistent with many studies (Darban A.R et al. 2017, Samson et al 2017, Anikulmar et al 2016) an important influent on MSW production, concerns the annual income of the population (in particular, low and medium income classes (up to 55,000 Euro per year)).

The Environmental Kuznets Curve theorized that at an initial increase in pollution (in this case the production of waste) is linked to the increase of per capita income, but the curve have a climax, after which turning down, due to a greater willingness to pay for having a higher environmental quality (Khajuria A et al. 2012). In the Lombardia Region a study has shown that the climax of the curve is between 23,500 and 28,000 Euros (Ercolano S. et al. 2018).

In Apulia Region there was an increasing production of waste as income classes increase from 0-10,000 Euro (+7% of production for each percentage of increase of this income range), 10,000-15,000 Euro (+7.8%), 15,000-26,000 Euro (+10,5%), and then begin the flattening of the increase curve from the class 26.000-55.000 (+6,8%). In some studies is reported that in urban and tourist areas there is a greater production of waste than in rural areas (Hoang et. Al. 2017). The same conclusion are in Apulia where higher production of waste and higher costs of management of MSW are in Coastal Municipalities. In Apulia the largest and tourist attraction urban centers are coastal. Tourist arrivals, infact, are factors that have an important impact both in the

separate collection (among the top 20 factors for influence), but especially in the costs for the collection and disposal of waste (directly proportional trend with this variable).

As expected, the factors that most influence the separate collection have been door-to-door services (https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection_Final%20Report.pdf) and the collection of Organic fraction. In particular, an high collection of Organic Fraction has a strong impact on the separate collection also due to the characteristics of MSW in Apulia. Consistent with other parts of the world (Maletz R et al 2017, Anikulmar et al 2016, Verna R.L. 2016), the organic fraction is one of the main product fractions of the MSW (about 19% in Apulia, from the data of the Waste Observatory of 2018)

Focusing on the Municipal Collection Centers, they have an important impact in increasing the percentage of separate collection, but, at the same time, do not affect individually, significantly, on the costs of waste collection and disposal. This costs becomes significant when associated with door-to-door service.

5 - Conclusion

Our study wanted to approach the problem of production, separate collection and MSW management costs in an innovative way, developing calculation models based on deep learning. This type of models are powerful and are having interesting and successful developments in many areas. The models developed by this study, with a good level of precision, have made it possible to better understand the dynamics concerning this sector and can also be used in other territorial areas. Future developments could refine these models and make the resulting information more accurate. This study has shown how important it is to combine services such as Municipal Collection Centers and Door to Door Service. This combination leads to a significant increase in separate collection, with the associated benefits in both environmental and health. From the considerations of such study they can derive concrete operations in order to create a more effective and efficient MSW management services, and to act in a surgical way on those variables that have considerably affect on MSW management

Acknowledgment

We thanks Apulia Region - Waste Management Section and AWRO components for technical suggestions (In particular Ing. Domenico Lovascio and doc. Giovanna Addati) .

We thanks Dr. Massimo Bianco (Apulia Statistical Office), Dr. Donatella Vignani (ISTAT), Dr. Carmine La Vita and Dr. Pasquale Recano (Ministry of the Interior) for suggestions and support in the data collection. We thank all municipalities respondents to questionnaire of the study.

Bibliography

Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet' Text with EEA relevance

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)

Italian Legislative Decree n. 205/2010

Italian Legislative Decree n. 152/2006

Decree of Italian Environmental Minister dating 8 April 2008

L.221/2015

Decree of Italian Environmental Minister dating 26 May 2016 - "Guidelines relating to the calculation of the percentage of separate collection of solid urban and assimilated waste"

Decision 2011/753/EU

Apulian Regional Council Resolution 1548/2016 -

Apulian Regional Law. n°36/2009

Bengio, Y.; Courville, A.; Vincent, P. (2013). "Representation Learning: A Review and New Perspectives". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 35 (8): 1798–1828

Deng, L.; Yu, D. (2014). "Deep Learning: Methods and Applications" Foundations and Trends in Signal Processing. 7 (3–4): 1–199

Ching T et al. (2018) Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. J. R. Soc. Interface 15: 20170387.

Goodfellow G I, Bengio Y, Courville C. A. (2015) " Deep Learning" Nature (May 2015)

De Giglio O, Fasano F., Diella G, Lopuzzo M, Napoli C, Apollonio F, Brigida S, Calia C., Campanale C, Marzella A, Pousis C, Rutigliano S, Triggiano F, Caggiano G, Montagna M.T (2019) "Legionella and legionellosis in touristic-recreational facilities: Influence of climate factors and geostatistical analysis in Southern Italy (2001–2017)" in Environmental Research – Volume 178

Apulian Regional Council Resolution n.2147/2012

Invitalia (2018)– Assetti Organizzativi Gestionali del Servizio di Gestione di Servizi Urbani – Report di rilevazione Puglia – Giugno 2018

ISPRA – Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2019

<http://dati.istat.it/>

http://ecologia.regione.puglia.it/portal/portale_orp

https://www1.finanze.gov.it/finanze3/analisi_stat/index.php?search_class%5B0%5D=cCOMUNE&opendata=yes

<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/il-consumo-di-suolo/i-dati-sul-consumo-di-suolo>

Mohsen Tavakol and Reg Dennick. Making Sense of Cronbach's Alpha. *International Journal of Medical Education*. 2011; 2:53-55 Editorial

<https://www.agenziapugliapromozione.it/portal/osservatorio-del-turismo>

Patro, Gopal S &Sahu, Kumar K. (2015). Normalization: A Preprocessing Stage. *IARJSET*. 10.17148/IARJSET.2015.2305.

Xu Y., Goodacre, R. (2018) On Splitting Training and Validation Set: A Comparative Study of Cross-Validation, Bootstrap and Systematic Sampling for Estimating the Generalization Performance of Supervised Learning. *J. Anal. Test.* 2, 249–262 (2018). <https://doi.org/10.1007/s41664-018-0068-2>

H. Shi, M. Xu, R. Li, "Deep Learning for Household Load Forecasting—A Novel Pooling Deep RNN," (2018) in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 5, pp. 5271-5280, Sept. 2018.

Favorskaya, M. & Andreev, V.. (2019). "The study of activation functions in deep learning for pedestrian detection and tracking". *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W12. 53-59. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-53-2019.

Eckle K, Shmidt-Hieber J (2019) A comparison of deep networks with ReLU activation function and linear spline-type methods in Neural Networks – Volume 110

Scholbeck C.A., Molnar C., Heumann C., Bischl B., Casalicchio G. (2020) Sampling, Intervention, Prediction, Aggregation: A Generalized Framework for Model-Agnostic Interpretations. In: Cellier P., Driessens K. (eds) *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. ECML PKDD 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1167. Springer, Cham

Alex Goldstein, Adam Kapelner, Justin Bleich & Emil Pitkin (2015) Peeking Inside the Black Box: Visualizing Statistical Learning With Plots of Individual Conditional Expectation, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 24:1, 44-65,

Darban Astane R, Hajilo M. – (2017) "Factors affecting the rural domestic waste generation" in *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 3(4): 417-426,

Anikulmar p.p., Chithra K. – (2016) "Land Use Based Modelling of Solid Waste Generation for Sustainable Residential Development in Small/Medium Scale Urban Areas" - in *Procedia Environmental Sciences – Volume 35* <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.086>

Samson, Masebinu&Akinlabi, Esther &Muzenda, E &Aboyade, Akinwale&Mbohwa, Charles &Manyuchi, Mercy & Naidoo, P.. (2017). "A Review on Factors affecting Municipal Solid Waste Generation"

Khajuria A , Matsui T. , Machimura T. , Morioka T, (2012) "Decoupling and Environmental Kuznets Curve for municipal solid waste generation: Evidence from India " *International Journal of Environmental Sciences - Volume 2, No 3,*

Ercolano,S., Lucio G, Gaeta L.,Ghini S, ,Silvestri F, (2018)“Kuznets curve in municipal solid waste production: An empirical analysis based on municipal-level panel data from the Lombardy region (Italy)” in Ecological Indicators - Volume 93, October 2018,

Hoang M, Fujiwara T, Pham Phu S., (2017) “Municipal Waste Generation and Composition in a tourist city – Hoi An, Vietnam” , Journal of JSCE, Volume 5, Issue 1

https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/Separate%20collection_Final%20Report.pdf

Maletz R. (2017) Success Factors for the Implementation of Separate Collection Systems. In: Maletz R., Dornack C., Ziyang L. (eds) Source Separation and Recycling. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 63. Springer, Cham

Verna R.L., Borogan G, Memon M, (2016) “Municipal Solid Waste Management in Ho Chi Minh City, Viet Nam, Current Practices and Future Recommendation” - Procedia Environmental Sciences • 2016

Firmato digitalmente da:
FABRIZIO FASANO
Regione Puglia
Firmato il: 19-08-2020 12:42:26
Seriale certificato: 649858
Valido dal 10-04-2020 al 10-04-2023



SCANNICCHIO
GIOVANNI
20.08.2020
09:39:31 UTC